

Relatório de 2010 do Comitê de Opções Técnicas em Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor (RTOC)

Avaliação de 2010

Protocolo de Montreal sobre substâncias
que destroem a camada de ozônio

Celebrando 25 anos de sucesso em 2012



**PROTOCOLO DE MONTREAL
SOBRE SUBSTÂNCIAS QUE
DESTROEM A CAMADA DE
OZÔNIO**



PNUMA

**RELATÓRIO DE 2010 DO
COMITÊ DE OPÇÕES TÉCNICAS PARA
REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO E
BOMBAS DE CALOR**

Avaliação de 2010

PNUMA
RELATÓRIO DE 2010
DO COMITÊ DE OPÇÕES TÉCNICAS EM REFRIGERAÇÃO, AR
CONDICIONADO E BOMBAS DE CALOR

AVALIAÇÃO DE 2010

**Protocolo de Montreal
sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio**

**PNUMA
RELATÓRIO DE 2010 DO
COMITÊ DE OPÇÕES TÉCNICAS EM
REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO E BOMBAS DE CALOR**

AValiação de 2010

O texto deste relatório foi composto em Times New Roman.

Coordenação: **Comitê de Opções Técnicas em Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor**

Composição: Lambert Kuijpers (codiretor)

Formatação, Reprodução: PNUMA Nairóbi, Secretariado do

Ozônio

Data: Fevereiro de 2011

Sem direitos autorais envolvidos.
Impresso no Quênia; 2011

ISBN 978-9966-20-002-0

EXONERAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), os codiretores e membros do Painel de Avaliação Econômica e Técnica (TEAP), os codiretores e membros do Comitê de Opções Técnicas em Refrigeração, AC e Bombas de Calor e as empresas e organizações que os empregam não endossam o desempenho, a segurança ou a aceitabilidade ambiental das opções técnicas discutidas. Toda operação industrial requer considerações sobre a segurança dos trabalhadores e sobre o descarte adequado de produtos contaminantes e resíduos. Além disso, com o desenvolvimento de trabalhos futuros – incluindo avaliações de toxicidade adicionais – mais informações a respeito dos efeitos sobre a saúde, o meio-ambiente e a segurança dos substitutos e alternativas serão disponibilizadas para serem utilizadas no processo de escolha entre as opções discutidas neste documento.

O PNUMA, os codiretores e membros do TEAP e os codiretores e membros do Comitê de Opções Técnicas em Refrigeração, AC e Bombas de Calor, ao fornecer ou distribuir estas informações, não fazem qualquer garantia ou representação, seja expressa ou implícita, a respeito da precisão, da completude ou da utilidade, nem assumem qualquer responsabilidade de qualquer tipo resultante do uso ou confiança em qualquer informação, material ou procedimento contido neste documento, incluindo, mas não limitado a, quaisquer afirmações a respeito de impactos na saúde e segurança, impacto ambiental eficácia ou desempenho apresentadas pelas fontes das informações.

A referência a qualquer empresa, associação ou produto neste documento é somente para fins de informação e não constitui uma recomendação de qualquer empresa, associação ou produto, seja expressa ou implícita, pelo PNUMA, pelos codiretores e membros do Painel de Avaliação Econômica e Tecnológica, pelos codiretores e membros do Comitê de Opções Técnicas para Refrigeração, AC e Bombas de Calor ou pelas empresas ou organizações que os empregam.

AGRADECIMENTOS

O Comitê de Opções Técnicas em Refrigeração, AC e Bombas de Calor do PNUMA agradece pelas valiosas colaborações de todos os indivíduos e organizações que forneceram apoio aos membros do comitê. No desenvolvimento deste relatório, particularmente, as atividades dos autores principais dos capítulos foram de grande importância.

Os nomes dos autores principais, coautores e colaboradores dos capítulos são fornecidos no início de cada capítulo. Endereços e telefones de contato dos autores principais e de todos os outros autores de capítulos do *TOC* de Refrigeração, AC e Bombas de Calor do PNUMA podem ser encontrados no Anexo I.

As opiniões expressas são aquelas do Comitê e não necessariamente refletem os pontos de vista de quaisquer organizações patrocinadoras ou apoiadoras.

Agradecemos também ao Secretariado do Ozônio do PNUMA, Nairóbi, Quênia, pela cooperação na formação e diagramação do relatório para sua reprodução.

PNUMA
RELATÓRIO DE 2010
DO COMITÊ DE OPÇÕES TÉCNICAS EM REFRIGERAÇÃO,
AR CONDICIONADO E BOMBAS DE CALOR

AValiação DE 2010

Sumário

PRINCIPAIS MENSAGENS

ABSTRACTS DO RESUMO EXECUTIVO

RESUMOS EXECUTIVOS DE TODOS OS CAPÍTULOS

1 INTRODUÇÃO

- 1.1 DESENVOLVIMENTOS DO PROTOCOLO DE MONTREAL
- 1.2 O PAINEL DE AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO PNUMA
- 1.3 COMITÊ DE OPÇÕES TÉCNICAS EM REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO E BOMBAS DE CALOR
- 1.4 REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO E BOMBAS DE CALOR
 - 1.4.1 *Observações Gerais*
 - 1.4.2 *Opções de Longo Prazo e Eficiência Energética*
 - 1.4.3 *Configuração do Relatório de Avaliação de 2010 do TOC de Refrigeração, A/C e Bombas de Calor*

2 REFRIGERANTES

- 2.1 INTRODUÇÃO
 - 2.1.1 *Evolução dos refrigerantes*
 - 2.1.2 *Hidrofluoroquímicos insaturados*
- 2.2 RESUMO DOS DADOS
 - 2.2.1 *Potenciais de Destruição do Ozônio*
 - 2.2.2 *Dados de PDO e PAG para fins de regulamentação e divulgação*
- 2.3 SITUAÇÃO ATUAL E NECESSIDADE DE DADOS PARA PESQUISA
 - 2.3.1 *Propriedades termofísicas*
 - 2.3.2 *Transferência de calor e dados de compatibilidade*
 - 2.3.3 *Dados de segurança*
- 2.4 REFERÊNCIAS

3 REFRIGERAÇÃO DOMÉSTICA

- 3.1 INTRODUÇÃO
- 3.2 OPÇÕES PARA NOVOS EQUIPAMENTOS
 - 3.2.1 *Opções de refrigerantes*
 - 3.2.2 *Tecnologias alternativas “not-in-kind”*
 - 3.2.3 *Tecnologias de melhoria da eficiência energética de produtos*
- 3.3 OPÇÕES PARA EQUIPAMENTOS EXISTENTES
 - 3.3.1 *Conversão drop-in para produtos em uso*
- 3.4 CONSERVAÇÃO NO FINAL DA VIDA ÚTIL E QUESTÕES DE CONTENÇÃO
- 3.5 USO ATUAL DE REFRIGERANTE
 - 3.5.1 *Produção de novos equipamentos*
 - 3.5.2 *Serviço no campo*
 - 3.5.3 *Implicações para a futura demanda de refrigerantes*
 - 3.5.4 *Implicações para a futura emissão de refrigerantes*
- 3.6 REFERÊNCIAS

4 REFRIGERAÇÃO COMERCIAL

- 4.1 INTRODUÇÃO
- 4.2 APLICAÇÕES
 - 4.2.1 *Equipamentos e sistemas*
- 4.3 OPÇÕES PARA NOVOS EQUIPAMENTOS
 - 4.3.1 *Equipamentos compactos*
 - 4.3.2 *Sistemas de unidades condensadoras*
 - 4.3.3 *Sistemas de supermercado*
- 4.4 OPÇÕES PARA EQUIPAMENTOS EXISTENTES
- 4.5 REFERÊNCIAS

5 SISTEMAS INDUSTRIAIS

- 5.1 INTRODUÇÃO
- 5.2 APLICAÇÕES (INCLUINDO TAMANHO DO MERCADO, PRÁTICA ATUAL, VARIAÇÕES REGIONAIS)
 - 5.2.1 *Processamento de alimentos*
 - 5.2.2 *Armazenamento a frio*
 - 5.2.3 *Resfriamento industrial em edifícios e centros de TI*
 - 5.2.4 *Bombas de calor industriais e recuperação de calor*
 - 5.2.5 *Lazer*
 - 5.2.6 *Refrigeração de processo*
- 5.3 OPÇÕES DE REFRIGERANTE PARA NOVOS EQUIPAMENTOS
 - 5.3.1 *R-717 (Amônia)*
 - 5.3.2 *Hidrofluorcarbonetos*
 - 5.3.3 *HCFC-22*
 - 5.3.4 *Hidrocarbonetos*
 - 5.3.5 *R-744 (Dióxido de carbono)*
 - 5.3.6 *R-718 (Água)*
 - 5.3.7 *Absorção*
- 5.4 OPÇÕES PARA EQUIPAMENTOS EXISTENTES
 - 5.4.1 *Conversão para misturas de HFC*
 - 5.4.2 *Conversão para R-744*
 - 5.4.3 *Conversão para R-717*
 - 5.4.4 *Conversão para hidrocarbonetos*
- 5.5 VISÃO GERAL DE CONSUMO, BANCOS E EMISSÕES DE REFRIGERANTES
- 5.6 REQUISITOS DE SERVIÇO
- 5.7 REFERÊNCIAS

6 TRANSPORTE REFRIGERADO

- 6.1 INTRODUÇÃO
- 6.2 PROGRESSO TECNOLÓGICO
 - 6.2.1 *Embarcações mercantes, navais e de pesca*
 - 6.2.2 *Transporte rodoviário*
 - 6.2.3 *Vagões ferroviários*
 - 6.2.4 *Contêineres Intermodais*
 - 6.2.5 *Pequenos contêineres e baús*
- 6.3 OPÇÕES PARA EQUIPAMENTOS EXISTENTES
- 6.4 OPÇÕES PARA NOVOS EQUIPAMENTOS
- 6.5 RECUPERAÇÃO, REUTILIZAÇÃO E DESTRUIÇÃO DE REFRIGERANTES
- 6.6 DADOS SOBRE BANCOS E EMISSÕES
- 6.7 REFERÊNCIAS

7 CONDICIONADORES DE AR E BOMBAS DE CALOR AR-AR

- 7.1 INTRODUÇÃO
- 7.2 APLICAÇÕES
 - 7.2.1 *Pequenos condicionadores de ar self-contained*
 - 7.2.2 *Condicionadores de ar residenciais e comerciais tipo split sem dutos*
 - 7.2.3 *Condicionadores de ar residenciais tipo split com dutos*
 - 7.2.4 *Condicionadores de ar comerciais compactos (packaged) tipo split com dutos*
- 7.3 USO ATUAL DO HCFC-22
 - 7.3.1 *Pequenos condicionadores de ar self-contained*
 - 7.3.2 *Condicionadores de ar tipo split sem dutos*
 - 7.3.3 *Condicionadores de ar residenciais tipo split com dutos*

- 7.3.4 *Condicionadores de ar comerciais compactos (packaged) tipo split com dutos*
- 7.3.5 *Banco de HCFC-22*
- 7.4 **OPÇÕES PARA NOVOS EQUIPAMENTOS**
 - 7.4.1 *Metodologia*
 - 7.4.2 *Refrigerantes HFCs de componente único*
 - 7.4.3 *Misturas de HFCs*
 - 7.4.4 *Refrigerantes HFCs e misturas com PAG reduzido*
 - 7.4.5 *Refrigerantes hidrocarbonetos*
 - 7.4.6 *R-744*
 - 7.4.7 *Considerações de inflamabilidade*
 - 7.4.8 *Tecnologias alternativas “not-in-kind”*
- 7.5 **OPÇÕES PARA EQUIPAMENTOS EXISTENTES**
 - 7.5.1 *Refrigerantes constituídos por misturas para serviço*
 - 7.5.2 *Refrigerantes para retrofit*
 - 7.5.3 *Impacto previsto de refrigerantes Drop-in e de Retrofit sobre o mercado*
 - 7.5.4 *Hidrocarbonetos como refrigerantes para conversão/drop-in*
- 7.6 **CONSIDERAÇÕES SOBRE ALTA TEMPERATURA AMBIENTE**
 - 7.6.1 *R-410A em aplicações de alta temperatura ambiente*
 - 7.6.2 *HC-290 em aplicações de alta temperatura ambiente*
 - 7.6.3 *R-407C em aplicações de alta temperatura ambiente*
 - 7.6.4 *HFC-32 em aplicações de alta temperatura ambiente*
 - 7.6.5 *HFC-134a e HC-600a em aplicações de alta temperatura ambiente*
 - 7.6.6 *R-744 em aplicações de alta temperatura ambiente*
 - 7.6.7 *Substitutos de HFCs em aplicações de alta temperatura ambiente*
- 7.7 **REFERÊNCIAS**
- 8 BOMBAS DE CALOR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA**
 - 8.1 **INTRODUÇÃO**
 - 8.2 **TIPOS DE BOMBAS DE CALOR**
 - 8.2.1 *Bombas de calor para aquecimento de água (HPWH)*
 - 8.2.2 *Bombas de calor para aquecimento de ambientes*
 - 8.2.3 *Bombas de calor combinadas para aquecimento de ambientes e água*
 - 8.2.4 *Faixas de capacidade de bombas de calor para aquecimento de água e de ambientes*
 - 8.3 **IMPLICAÇÕES E TENDÊNCIAS DE BOMBAS DE CALOR**
 - 8.3.1 *Tendências de substituição de sistemas baseados na queima de combustível ou gás por bombas de calor*
 - 8.3.2 *Bombas de calor para aquecimento de água com CO₂*
 - 8.4 **OPÇÕES ATUAIS DE REFRIGERANTES PARA BOMBAS DE CALOR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA E DE AMBIENTES**
 - 8.4.1 *HCFC-22*
 - 8.4.2 *HFC-134a e as misturas de HFC R-407C e R-410A*
 - 8.4.3 *Hidrocarbonetos*
 - 8.4.4 *R-744 (Dióxido de carbono)*
 - 8.4.5 *R-717 (Amônia)*
 - 8.5 **OPÇÕES FUTURAS DE REFRIGERANTES PARA NOVAS BOMBAS DE CALOR**
 - 8.5.1 *HFC-134a e as misturas de HFC R-407C e R-410A*
 - 8.5.2 *HFC-32*
 - 8.5.3 *HFC-1234yf e outras misturas de HFCs com baixo PAG*
 - 8.5.4 *R-744 (Dióxido de carbono)*
 - 8.5.5 *Hidrocarbonetos*
 - 8.5.6 *R-717 (Amônia)*
 - 8.6 **REFERÊNCIAS**
- 9 UNIDADES RESFRIADORAS DE LÍQUIDOS (CHILLERS)**
 - 9.1 **FUNÇÃO DOS CHILLERS**
 - 9.2 **TIPOS DE CHILLERS**
 - 9.2.1 *Chillers mecânicos de compressão de vapor*
 - 9.2.2 *Chillers a absorção*
 - 9.2.3 *Faixas de capacidades de chillers*
 - 9.3 **DESENVOLVIMENTOS E TENDÊNCIAS NOS MERCADOS DE CHILLERS**
 - 9.3.1 *Medidas de eficiência de chillersou uso de energia*
 - 9.3.2 *Desenvolvimentos no mercado – Chillers de compressão de vapor*
 - 9.3.3 *Desenvolvimentos no mercado – Chillers a absorção*

9.4 ESCOLHAS E OPÇÕES ATUAIS DE REFRIGERANTE PARA CHILLERS MECÂNICOS DE COMPRESSÃO DE VAPOR

9.4.1 *Chillers de deslocamento positivo*

9.4.2 *Chillers centrífugos*

9.5 OPÇÕES PARA NOVOS EQUIPAMENTOS

9.5.1 *Opções para novos chillers de deslocamento positivo*

9.5.2 *Opções para novos chillers centrífugos*

9.5.3 *Questões relacionadas ao HCFC-123, ao HFC-134a, ao R-410A e a outros refrigerantes*

HFCs

9.5.4 *Alternativas a sistemas de compressão de vapor (chillers a absorção)*

9.6 OPÇÕES PARA EQUIPAMENTOS EXISTENTES

9.6.1 *Chillers de deslocamento positivo*

9.6.2 *Chillers centrífugos*

9.6.3 *Substitutos “not-in-kind” para chillers a absorção*

9.7 BANCOS E EMISSÕES RELACIONADOS A CHILLERS

9.8 REFERÊNCIAS

10 AR CONDICIONADO DE VEÍCULOS

10.1 INTRODUÇÃO

10.1.1 *Ações regulatórias que afetam o ar condicionado de veículos e refrigerantes*

10.2 PROGRESSO TECNOLÓGICO

10.3 SISTEMAS DE AR CONDICIONADO MÓVEIS EXISTENTES

10.3.1 *HFC-134a*

10.3.2 *Retrofit de sistemas com CFC-12*

10.4 OPÇÕES FUTURAS PARA SISTEMAS DE AR CONDICIONADO MÓVEIS

10.4.1 *Ar condicionado de automóveis de passageiros e caminhões leves*

10.4.2 *Ar condicionado de ônibus e trens*

10.5 REFERÊNCIAS

11 CONSERVAÇÃO DE REFRIGERANTES

11.1 INTRODUÇÃO

11.2 RECUPERAÇÃO, RECICLAGEM E REGENERAÇÃO

11.3 EQUIPAMENTOS DE RECUPERAÇÃO E RECICLAGEM DE REFRIGERANTE

11.4 TREINAMENTO DE TÉCNICOS E CERTIFICAÇÃO PARA ATIVIDADES DE SERVIÇO

11.5 REGENERAÇÃO, SEPARAÇÃO E DESTRUIÇÃO DE REFRIGERANTES

11.5.1 *Regeneração e separação*

11.6 DESIGN E MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS

11.6.1 *Design*

11.6.2 *Minimização de carga*

11.6.3 *Instalação*

11.6.4 *Manutenção*

11.6.5 *Redução de emissões por estanqueidade*

11.7 REGULAMENTAÇÃO DIRETA COMO MODO DE CONSERVAÇÃO DE REFRIGERANTES

11.7.1 *Incentivos financeiros*

11.7.2 *Práticas de manutenção obrigatória e estanqueidade*

11.7.3 *Restrições sobre as vendas e importações de SDOs*

11.8 FIM DE VIDA

11.9 EXEMPLOS DE ABORDAGENS DE CONSERVAÇÃO

11.9.1 *África*

11.9.2 *América do Sul*

11.9.3 *China*

11.9.4 *Estados Unidos*

11.9.5 *Japão*

11.10 PROBLEMAS EM PAÍSES DO ARTIGO 5

11.11 REFERÊNCIAS

ANEXO 1 – AUTORES, COAUTORES E COLABORADORES DO RELATÓRIO DE 2010 DO RTOC

ANEXO 2: - EXCERTO DO RELATÓRIO FINAL SOBRE INVENTÁRIOS GLOBAIS DO CONJUNTO MUNDIAL DE EQUIPAMENTOS DE REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO A FIM DE DETERMINAR AS EMISSÕES DE REFRIGERANTE. ATUALIZAÇÃO DE 1990 A 2006.

Principais mensagens

- ♦ A eliminação global necessária dos HCFCs e a necessidade de gerenciar a operação de vida de equipamentos baseados em CFCs e HCFCs, juntamente com as preocupações com a redução do aquecimento global, impulsionam a transição de refrigerantes constituídos por substâncias que destroem a camada de ozônio (SDOs). As opções tecnológicas são universais, mas leis, regulamentações, normas, economia, situações de concorrência e outros fatores locais influenciam as escolhas locais e regionais.
- ♦ Desde o relatório de avaliação de 2006, mais de 60 novos refrigerantes, muitos deles misturas, foram introduzidos para uso tanto em novos equipamentos quanto como fluidos de manutenção (para converter ou manter equipamentos existentes). O foco principal para o exame de novos refrigerantes está em hidrofluorcarbonetos insaturados e hidroclorofluorcarbonetos insaturados. A abrangente questão da mudança do clima, bem como as mudanças em opções de refrigerante para refrigeração e ar condicionado, continuará a promover inovações nesses equipamentos. Os HFCs e opções não fluoroquímicas são cada vez mais utilizados na maioria dos setores, com ênfase na otimização da eficiência do sistema (expressa pelo Coeficiente de Performance – COP) e na redução das emissões de refrigerantes com alto Potencial de Aquecimento Global (PAG).
- ♦ Existem várias alternativas com PAG baixo e médio a serem consideradas como substitutas para HCFC-22. Estas incluem refrigerantes HFC com menor PAG (HFC-32, HFC-152a, HFC-161, HFC-1234yf e outros fluoroquímicos insaturados, bem como misturas deles), HC-290 e R-744 (CO₂). O HC-290 e alguns refrigerantes HFC são inflamáveis e deverão ser aplicados de acordo com uma norma de segurança apropriada. Um elevado grau de contenção se aplica a todas as aplicações de refrigerante futuras, seja para diminuir o impacto sobre o clima, seja por razões de segurança. Este último aspecto também aumenta a necessidade de promover tecnologias de redução de carga.
- ♦ Na refrigeração comercial, em equipamentos compactos, hidrocarbonetos (HCs) e R-744 estão ganhando cotas de mercado na Europa e no Japão; eles substituem o HFC-134a, que é a principal escolha na maioria dos países. Em muitos países desenvolvidos, o R-404A e o R-507A são os principais substitutos para HCFC-22 em supermercados, porém, em função de seu elevado PAG, diversas outras opções estão sendo introduzidas. Sistemas indiretos são a opção mais eficaz para a redução de emissões em novos sistemas centralizados para supermercados. Em sistemas de dois estágios na Europa, o R-744 é usado no nível de baixa temperatura e HFC-134a, R-744 e HCs são usados no nível de temperatura média.
- ♦ Na refrigeração industrial, R-717 (amônia) e HCFC-22 ainda são os refrigerantes mais comuns; R-744 prevalece em sistemas em cascata de baixa temperatura, nos quais substitui principalmente R-717 (amônia), embora o volume de mercado seja pequeno.
- ♦ Em ar condicionado ar-ar, misturas de HFCs, principalmente R-410A, mas até certo ponto também R-407C, ainda são os principais substitutos no curto prazo para o HCFC-22 em sistemas refrigerados a ar. O HC-290 também está sendo utilizado para substituir o HCFC-22 em sistemas split de baixa carga e em condicionadores de ar de janela e portáteis em alguns países. A maioria dos países do Artigo 5 ainda utilizam o HCFC-22 como refrigerante principal em aplicações de condicionamento de ar.
- ♦ Os fabricantes de automóveis já avaliaram várias opções de refrigerante para sistemas de ar condicionado de carros (e caminhões) novos, incluindo R-744, HFC-152a e HFC-1234yf, todos com PAG abaixo do limite da UE de 150. Essas opções podem alcançar eficiência de combustível comparável à dos sistemas existentes com HFC-134a com o desenvolvimento de componentes e controles adequados. O uso de hidrocarbonetos ou de misturas de hidrocarbonetos também é considerado, mas até agora não recebeu o apoio de fabricantes de veículos devido a questões de segurança. A eventual decisão sobre qual refrigerante selecionar para o condicionamento de ar de veículos será tomada com base nos PAGs das três opções acima, juntamente com considerações adicionais, incluindo aprovação regulamentar, custos, confiabilidade do sistema, segurança, capacidade e manutenção.

Abstracts dos Resumos Executivos

Status atual

A eliminação global necessária dos HCFCs e a necessidade de gerenciar a operação ao longo da vida de equipamentos baseados em CFCs e HCFCs, juntamente com as preocupações com a redução do aquecimento global, impulsionam a transição de refrigerantes com substâncias que destroem a camada de ozônio (SDOS). As opções tecnológicas são universais, mas leis, regulamentações, normas, economia, situações de concorrência e outros fatores locais influenciam as escolhas locais e regionais. As principais soluções atuais são resumidas abaixo.

Refrigerantes: Desde o relatório de avaliação de 2006, mais de 60 novos refrigerantes, muitos deles misturas, foram introduzidos para uso tanto em novos equipamentos quanto como fluidos de manutenção (para converter ou manter equipamentos existentes). O foco principal para o exame de novos refrigerantes está em hidrofluorcarbonetos insaturados e hidroclorofluorcarbonetos insaturados. Outros refrigerantes ainda estão em desenvolvimento para permitir a conclusão das eliminações programadas de SDOs. É dado foco significativo a alternativas, incluindo componentes de mistura, que oferecem menor potencial de aquecimento global (PAG) para tratar das mudanças climáticas, exigindo maior atenção que no passado aos candidatos inflamáveis ou de baixa inflamabilidade. Pesquisas continuam a complementar e melhorar os dados físicos, ambientais e de segurança sobre refrigerantes, a fim de permitir a triagem e para otimizar o desempenho de equipamentos.

Refrigeração doméstica: A conversão da produção de novos equipamentos para o uso de refrigerantes não SDO está essencialmente concluída. Mais de um terço das unidades produzidas mundialmente agora usam o refrigerante HC-600a; o restante utiliza HFC-134a. As emissões de CFCs a partir do banco de 150 mil toneladas de refrigerante doméstico decorrem principalmente da eliminação em fim de vida útil dos aparelhos, devido à alta confiabilidade dos equipamentos. Aproximadamente 70% dos CFCs residuais atualmente encontram-se nos países do Artigo 5.

Refrigeração comercial: Em equipamentos compactos de refrigeração comercial, os hidrocarbonetos (HCs) e R-744 estão ganhando cotas de mercado na Europa e no Japão. Eles substituem o HFC-134a, que é a principal escolha na maioria dos países incluídos e não incluídos no Artigo 5. Para unidades condensadoras e sistemas de supermercados, o maior banco refrigerantes consiste de HCFC-22, que representa cerca de 60% do banco de refrigerantes mundial em refrigeração comercial. Nos países desenvolvidos, os principais substitutos do HCFC-22 em supermercados são R-404A e R-507A, embora uma série de outras opções sejam usadas. Na Europa, o R-744 é usado em baixa temperatura e HFC-134a, R-744 e HCs são utilizados em média temperatura como alternativas para R-404A e R-507A em função de seu alto PAG.

Refrigeração industrial: R-717 e HCFC-22 são os refrigerantes mais comuns para novos equipamentos; considerações de custo levaram ao uso de HFC em novos sistemas de pequena capacidade. O R-744 prevalece em sistemas em cascata de baixa temperatura, nos quais substitui principalmente R-717 (amônia), embora o volume de mercado seja pequeno para tais sistemas. O banco de refrigerantes SDOs consiste de 20.000 toneladas de CFCs e 125.000 toneladas de HCFCs e HFCs. As taxas anuais de emissão de SDOs estão na faixa de 10 a 25% do total da carga de refrigerantes em banco. O R-717 ainda é o principal refrigerante em grandes sistemas industriais, especialmente naqueles para processamento e armazenamento de alimentos e bebidas.

Transporte Refrigerado: O HCFC-22 tem uma participação baixa em contêineres intermodais e equipamentos rodoviários, mas uma elevada percentagem em vagões ferroviários (mercado em declínio) e uma parcela muito grande em embarcações marítimas. Atualmente, quase todos os novos sistemas utilizam fluidos refrigerantes HFCs (R-404A e HFC-134a). Refrigerantes não fluorados foram comercializados em pequena escala a bordo de embarcações marítimas (R-717, R-744) e testados em contêineres marítimos, trailers (R-744) e caminhões (HC-290). Estima-se que os bancos de refrigerantes tenham 2.700 toneladas de CFCs e 27.200 toneladas de HCFC-22. A taxa de vazamento anual está na faixa de 20-40%, dependendo da aplicação específica.

Condicionadores ar-ar e bombas de calor: Misturas de HFCs, principalmente R-410A, mas até certo

ponto também R-407C, ainda são os principais substitutos no curto prazo para o HCFC-22 em sistemas resfriados a ar. O HC-290 também está sendo utilizado para substituir o HCFC-22 em sistemas split de baixa carga e em condicionadores de ar de janela e portáteis em alguns países. A maioria dos países do Artigo 5 ainda utilizam o HCFC-22 como refrigerante principal em aplicações de condicionamento de ar.

O banco de refrigerante para condicionadores de ar unitários é superior a 1 milhão de toneladas de HCFC-22.

Bombas de calor para aquecimento de água: Bombas de calor ar-água tiveram crescimento significativo no Japão, na Austrália, na China e na Europa nos últimos cinco anos, principalmente em função dos incentivos governamentais na Europa e no Japão e, em anos anteriores, nos EUA. O HCFC-22 atualmente é usado principalmente em países do Artigo 5. As misturas de HFCs R-410A e R407C são atualmente utilizadas na Europa e em outros países. Aquecedores de água com bomba de calor a base de R-744 foram introduzidos no mercado no Japão em 2001 e apresentam um crescimento constante desde então, novamente influenciados por subsídios significativos. O HC-290 está sendo aplicado, mas seu uso na Europa vem diminuindo devido à introdução da Diretiva de Equipamento Pressurizado. O R-717 é utilizado principalmente para sistemas de bomba de calor de grande capacidade.

Chillers: O uso de HCFC-22 foi descontinuado em novos equipamentos nos países desenvolvidos, mas ainda ocorre em países do Artigo 5. Ambos HCFC-123 e HFC-134a são utilizados em chillers centrífugos. HFC-134a e R-410A são as opções mais comuns em sistemas menores, com compressores *scroll* e de parafusos; o uso limitado de R-407C está em declínio. A aplicação de HCs e R-717 em chillers é menos comum e extremamente rara, sendo uma fração do total em chillers de grande porte.

Ar condicionado de veículos: Atualmente, todos os novos automóveis de passageiros equipados com AC do mundo utilizam HFC-134a; a transição do CFC-12 foi concluída para novos sistemas, mas não em carros antigos, onde ainda está em uso, especialmente em países do Artigo 5. Cerca de um quinto do total das emissões globais de refrigerante são de sistemas de Ar Condicionado Móvel (cerca de 60% se apenas as emissões de refrigerante HFC forem consideradas). Isso inclui as emissões na produção, no uso, na manutenção e no final de vida. Até o momento, os fabricantes de automóveis e fornecedores já avaliaram diversas opções de refrigerante para novos sistemas de ar condicionado de automóveis (e caminhões): R-744, HFC-152a e HFC-1234yf. Essas três opções têm PAG abaixo do limiar da UE de 150 e podem atingir eficiência de combustível comparável à de sistemas existentes com HFC-134a com o desenvolvimento de componentes e controles adequados. O uso de hidrocarbonetos ou de misturas de hidrocarbonetos também é considerado, mas até agora não recebeu o apoio de fabricantes de veículos devido a questões de segurança. A maioria dos novos sistemas de ar condicionado de ônibus ou trens é equipada com os refrigerantes HFC-134a ou R-407C. Testes de frota estão em andamento em ônibus com sistemas R-744.

O que ainda precisa ser feito

Mais de 100 refrigerantes, incluindo misturas, são comercializados no presente, embora cerca de 20 constituam a esmagadora maioria a nível mundial e até mesmo essa quantidade deva cair conforme os usuários gradualmente migrem para as opções preferidas. Os fabricantes de refrigerantes estão em processo de desenvolvimento de novos candidatos, enquanto os fabricantes de equipamentos testam, selecionam e qualificam novos refrigerantes, bem como lubrificantes e outros materiais associados. As opções tecnológicas para ar condicionado e refrigeração devem evoluir ao longo dos próximos anos conforme os designers vão substituindo o HCFC-22 por alternativas não SDOs e dando ênfase ao desenvolvimento de alternativas para R-410A e R-407C com PAG baixo. Há várias alternativas com baixo e médio PAG que podem ser consideradas como substitutas para o HCFC-22. Estas incluem refrigerantes HFCs com PAG menor (HFC-32, HFC-152a, HFC-161, HFC-1234yf e outros fluoroquímicos insaturados, bem como mistura deles), HC-290 e R-744. O HC-290 e alguns dos refrigerantes HFC são inflamáveis e deverão ser aplicados de acordo com um padrão de segurança adequado, como o IEC-60335-2-40, que estabelece níveis máximos de carga e requisitos de ventilação.

Várias cadeias comerciais têm feito grandes progressos na contenção de refrigerantes em sistemas de supermercado. Sistemas indiretos são a opção mais eficaz para a redução de emissões e, na Europa, estão ganhando cota de mercado em novos sistemas centralizados para supermercados. O desenvolvimento técnico de alternativas em refrigeração industrial deve dar prioridade a R-717 e R-744 no futuro próximo. Uma quantidade significativa de pesquisas, desenvolvimentos e testes será necessária antes que HFCs insaturados possam ser implantados em grandes sistemas industriais. Ainda assim, o alto preço do

refrigerante será um impedimento para a adoção. Em bombas de calor para aquecimento de água, espera-se que sejam desenvolvidas opções com menor PAG. No transporte refrigerado, espera-se uma rápida eliminação dos HCFCs restantes devido ao tempo de vida relativamente curto de contêineres intermodais, vagões ferroviários e veículos rodoviários (10-15 anos) e embarcações (<25 anos). Dependendo das emissões de CO₂ associadas à produção de eletricidade e da eficiência energética dos sistemas, existe um grande potencial para reduzir as emissões de CO₂ geradas por sistemas de aquecimento operados por combustíveis fósseis, substituindo-os por bombas de calor. A decisão sobre qual refrigerante será eventualmente selecionado para o condicionamento de ar de veículos será tomada com base em considerações adicionais juntamente com o Potencial de Aquecimento Global das opções alternativas atuais (R-744, HFC-152a e HFC-1234yf). Estas incluem a aprovação regulamentar, custos, confiabilidade do sistema, segurança, capacidade e manutenção.

Em todo o mundo, uma quantidade significativa de equipamentos de refrigeração instalados ainda usa CFCs e HCFCs. Consequentemente, continuará havendo demanda por manutenção de CFCs e HCFCs. A demanda por refrigerantes para as necessidades de manutenção pode ser minimizada por meio de manutenção preventiva, contenção, recuperação e reciclagem. A gestão dos bancos de CFCs e HCFCs nos países em desenvolvimento é uma questão importante. Uma etapa fundamental para abordar os temas de conservação de refrigerantes acima é a formação completa de instaladores e técnicos de manutenção, juntamente com a certificação e regulamentação. Os países onde os programas foram bem-sucedidos tinham regulamentos abrangentes que exigiam a recuperação e reciclagem ou a destruição do refrigerante.

O caminho a seguir

A abrangente questão da mudança do clima, bem como as mudanças em opções de refrigerante para refrigeração e ar condicionado, continuará a promover inovações nesse tipo de equipamento. Muitas das opções de refrigerantes com PAG mais baixo são inflamáveis, aumentando a necessidade de promover tecnologias de redução de carga. Os HFCs e opções não fluorquímicas são cada vez mais utilizados na maioria dos setores, com ênfase na otimização da eficiência do sistema (COP) e na redução das emissões de refrigerantes com alto PAG. Um alto grau de contenção se aplica a todas as aplicações futuras de refrigerantes, seja para diminuir o impacto sobre o clima, seja por razões de segurança. O mercado competitivo provavelmente resultará em opções de refrigerantes para todas as aplicações comuns e também em produtos especializados ou na adaptação de equipamentos para adequar os novos refrigerantes a todas as aplicações. No entanto, os indícios iniciais são de que provavelmente haverá eficiência reduzida em vários usos importantes. É interessante notar que a fabricação de equipamentos de refrigeração, ar condicionado e bombas de calor para a exportação é crescente nos países do Artigo 5 e deverá crescer ainda mais.

Na refrigeração doméstica, e, em menor medida, em equipamentos comerciais independentes, uma nova tendência é a conversão de HFC-134a para HC-600a. Os países não incluídos no Artigo 5 concluíram a conversão de refrigerantes SDOs na refrigeração doméstica há aproximadamente 15 anos; equipamentos mais antigos agora se aproximam do fim de seu tempo de vida útil, o que resulta em uma redução na demanda por refrigerantes SDOs em países que não fazem parte do Artigo 5. A demanda por manutenção para refrigerantes SDOs para refrigeração doméstica em países do Artigo 5 deve permanecer forte por mais de 10 anos, como resultado de sua conversão posterior para refrigerantes não SDOs. Em equipamentos comerciais independentes em países do Artigo 5, o uso de HCs deve ter um aumento. Para sistemas centralizados de duas temperaturas, R-744 é uma opção para o nível de temperatura mais baixo; no futuro próximo, haverá a escolha para o nível médio de temperatura entre os novos HFCs com PAG baixo, de um lado, e R-744 ou HCs, de outro. Na refrigeração industrial, há bancos substanciais de CFCs nos países do Artigo 5 e HCFCs tanto em países do Artigo 5 quanto em países não incluídos no Artigo 5 que precisam ser tratados. Países do Artigo 5 que estão abandonando o uso de HCFCs (HCFC-22) podem migrar para HFCs saturados, HFCs insaturados (se comprovados para uso em sistemas industriais), R-717 e R-744, ou para outras soluções “*not-in-kind*”. Na refrigeração de transporte, os HFCs substituirão HCFCs e se tornarão um refrigerante dominante em navios de passageiros e pequenos navios de todas as categorias. A indústria está trabalhando para o uso de refrigerantes não fluorados em contêineres marítimos, trailers (R-744) e caminhões (R-290); ambos estão atualmente em fase de desenvolvimento e testes. Em condicionadores de ar ar-ar e bombas de calor, HFCs, misturas de HFCs e HC-290 são os refrigerantes com maior probabilidade em curto prazo de substituir o HCFC-22 na maioria das aplicações de ar condicionado. Diferentemente dos países não incluídos no Artigo 5, a demanda por refrigerantes de manutenção na maioria dos países do Artigo 5 consistirá de HCFC-22 e misturas de serviço baseadas em HFCs; essa tendência é impulsionada pela longa vida útil do equipamento e também se deve aos custos da

conversão de equipamentos no campo para fluidos refrigerantes alternativos. Em bombas de calor para aquecimento de água, o HFC-32, HFCs insaturados, como HFC-1234yf, ou misturas com este refrigerante serão estudados para uso futuro, levando em conta o desempenho, os custos e as normas de segurança necessárias em relação a sua inflamabilidade. O candidato preferido entre os fabricantes de automóveis do mundo para os futuros sistemas de ar condicionado de veículos parece ser o HFC-1234yf. Um fabricante anunciou a intenção de introduzir esse refrigerante na produção de carros de série em 2013. OEMs indicam que eles projetarão sistemas MAC com HFC-1234yf de forma que esses sistemas possam ser usados com segurança também com HFC-134a.

Resumos executivos de todos os capítulos

Capítulo 2: Refrigerantes:

Mais de 60 novos refrigerantes foram introduzidos para uso tanto em novos equipamentos quanto como fluidos de manutenção (para manter ou converter equipamentos existentes) desde o relatório de avaliação de 2006. É dado foco significativo a alternativas, incluindo componentes de mistura, que oferecem menor potencial de aquecimento global (PAG) para tratar das mudanças climáticas. Essa busca exige maior atenção que no passado aos candidatos inflamáveis ou de baixa inflamabilidade. A maioria dos novos refrigerantes são misturas que contêm hidrofluorcarbonos (HFCs) ou, em alguns casos, misturas de HFCs e hidrocarbonetos (HCs), sendo os últimos normalmente adicionados para alcançar miscibilidade com lubrificantes a fim de facilitar o retorno do lubrificante para o compressor.

Outros refrigerantes, incluindo componentes de mistura, ainda estão em desenvolvimento para permitir a conclusão das eliminações programadas de substâncias que destroem a camada de ozônio (SDOs). Eles incluem fluoroquímicos insaturados com foco principal em HFCs e hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) insaturados, também identificados como compostos de hidrofluorolefina (HFO) e hidroclorofluorolefina (HCFO). Considerável esforço continua a ser realizado para o exame do uso mais amplo de amônia, dióxido de carbono e HCs. Pesquisas continuam a complementar e melhorar os dados físicos, ambientais e de segurança sobre refrigerantes, a fim de permitir a triagem e para otimizar o desempenho de equipamentos.

O relatório atualiza e expande os dados resumidos para a avaliação de novos refrigerantes e para a comparação com refrigerantes já retirados de uso ou que estão sendo substituídos devido a serem SDOs ou por outros motivos de desempenho, ambientais ou de segurança. Os dados ambientais incluídos são consistentes com a Avaliação Científica de 2010 da OMM, complementados com dados adicionais para preencher lacunas, retirados de outras avaliações de consenso e estudos publicados.

A nova avaliação atualiza os dados de avaliações anteriores. Os dados revisados refletem avaliações de consenso e a literatura científica e de engenharia publicada, sempre que possível. Os resumos tratam de designações de refrigerante, fórmulas químicas, ponto de ebulição normal (NBP), temperatura crítica (T_c), limites de exposição ocupacional, limite inferior de inflamabilidade (LFL), classificação de segurança, tempo de vida atmosférica (t_{atm}), potencial de destruição de ozônio (PDO), potencial de aquecimento global (PAG) e status de controle. O capítulo atualizado também resume os valores de PDO e PAG prescritos para relatórios regulamentares.

O status dos dados sobre as propriedades termodinâmicas de refrigerantes, que incluem tanto propriedades termodinâmicas (como densidade, pressão entalpia, entropia e calor específico) e propriedades de transporte (como viscosidade e condutividade térmica) é geralmente bom para os refrigerantes mais comuns e alternativos. Existem lacunas de dados, no entanto, para as propriedades termodinâmicas e de transporte de misturas e de fluidos menos comuns, bem como para as propriedades de transporte de muitos fluidos (mas especialmente para misturas e para alguns dos novos fluoroquímicos insaturados e misturas que os contêm). A situação de dados para os fluidos menos comuns é mais variável; não há necessidade de recolher e avaliar os dados desses candidatos. Ainda é necessária uma quantidade de pesquisa significativa, mas isso não deve retardar a eliminação de SDOs programada.

Uma grande incerteza para todos os refrigerantes é a influência de lubrificantes nas propriedades. O fluido de trabalho na maioria dos sistemas é na verdade uma mistura do refrigerante com o lubrificante do(s) compressor(es). Pesquisas sobre misturas de refrigerante-lubrificante continuam em andamento. A necessidade de mais estudos é impulsionada pela introdução de novos refrigerantes, pela grande variedade de lubrificantes em uso e em vias de introdução e pela natureza muitas vezes altamente patenteada das estruturas químicas do lubrificante e/ou dos aditivos.

Este capítulo resume os dados sobre refrigerantes e especificamente para aqueles refrigerantes abordados nas seções subsequentes deste relatório de avaliação. Discute as propriedades termodinâmicas (termodinâmicas e de transporte), bem como dados de transferência de calor, compatibilidade e segurança.

Este capítulo não trata de adequação, vantagens e desvantagens de refrigerantes individuais ou de grupos de refrigerantes para aplicações específicas; essa discussão é apresentada para aplicações específicas quando relevante nos próximos capítulos.

O capítulo atualizado analisa o status da transferência de calor e dados de compatibilidade para refrigerantes. Ele recomenda maiores pesquisas sobre:

- ◆ dados de teste para ponto de ebulição e condensação do lado do casco de misturas zeotrópicas
- ◆ dados de transferência de calor local determinados com valores específicos de título de vapor
- ◆ dados de transferência de calor do lado do refrigerante em trocador de calor de microcanais, incluindo efeitos de distribuição de fluxo
- ◆ efeitos de lubrificantes sobre a transferência de calor, especialmente para amônia, dióxido de carbono, hidrocarbonetos, HCFCs insaturados e HFCs insaturados
- ◆ dados de evaporação e condensação mais precisos sobre hidrocarbonetos para tubos simples e tubos com aletamento
- ◆ dados de transferência de calor de condensação dentro de tubos para o dióxido de carbono a baixas temperaturas, como -20 °C
- ◆ correlações de transferência de calor para rejeição de calor do dióxido de carbono ciclo supercrítico e para evaporação

Capítulo 3: Refrigeração doméstica

A conversão da produção de novos refrigeradores domésticos para refrigerantes não SDOs está essencialmente concluída. As alternativas de refrigerantes ainda são HC-600a e HFC-134a. Em 2008, 36% das unidades de produção usavam HC-600a ou uma mistura binária de HC-600a e HC-290; 63% usavam HFC-134a. O 1% restante usava refrigerantes regionalmente disponíveis, como o HFC-152a. A segunda geração de conversão de refrigerantes não SDOs de HFC-134a para HC-600a está completa no Japão e já começou nos Estados Unidos e em outros países. Uma parte significativa dessa conversão de segunda geração deve ocorrer na próxima década. Até 2020, estima-se que 3/4 da demanda por refrigerantes para a produção de novos refrigeradores será por HC-600a e 1/4 será por HC-134a. Não surgiram novas tecnologias competitivas em termos de custo-benefício com a tecnologia de compressão de vapor atual.

A conversão das atividades de serviço para refrigerantes não SDOs atrasou significativamente a conversão de equipamento original. O caráter distribuído, com oficinas com proprietários individuais, do setor de serviços oferece resistência a esforços coordenados para o gerenciamento de refrigerantes. Procedimentos de serviço de campo normalmente usam os refrigerantes especificados originalmente. Os países não incluídos no Artigo 5 concluíram a conversão do uso de refrigerantes SDOs na nova produção há aproximadamente 15 anos. Este intervalo de tempo está se aproximando do tempo de vida útil dos equipamentos, então a manutenção de produtos com refrigerante SDOs está se transformando em uma questão de fim de vida útil nesses países. A demanda por manutenção para refrigerantes SDOs em países do Artigo 5 deve permanecer forte por mais de 10 anos, como resultado de sua conversão posterior para refrigerantes não SDOs. A menos que haja intervenção do governo, a demanda de serviço por refrigerante CFC-12 deve continuar.

Uma maior eficiência energética do produto fornece benefícios para a redução do aquecimento global durante a fase de uso no ciclo de vida do refrigerador. Modelos mais modernos (“estado da arte”) existentes contêm várias e consolidadas opções de melhoria da eficiência. Sua extensão para todos os produtos globais traria vantagens significativas, mas a realização será limitada pela disponibilidade de capital.

Em 2006, o banco global de refrigerantes foi estimado em 153.000 toneladas, com 40% de CFC-12, 54% de HFC-134a e 6% de HC-600a. O banco é igualmente dividido entre países incluídos e não incluídos no Artigo 5. Aproximadamente 71% dos CFCs residuais encontram-se nos países do Artigo 5. As emissões anuais desse banco foram estimadas em 6,8%. A maior parte dos refrigeradores domésticos nunca precisa de manutenção do circuito de refrigeração. Consequentemente, as emissões são dominadas por descarte de fim

de vida do produto; assim, o gerenciamento de emissões de produtos antigos pode ser a maior oportunidade para evitar emissões.

Capítulo 4: Refrigeração comercial

A refrigeração comercial é composta por três famílias diferentes de sistemas: sistemas centralizados instalados em supermercados, unidades condensadoras instaladas principalmente em pequenas lojas e unidades compactas ou autônomas instaladas em todos os tipos de lojas. As escolhas de refrigerante dependem dos níveis de temperatura de conservação e dos tipos de sistema.

O número estimado de supermercados em todo o mundo era de 280 mil, em 2006, abrangendo uma ampla variedade de áreas de vendas, de 400 m² a 20.000 m². Em 2006, as populações estimadas de máquinas automáticas de vendas e equipamentos compactos eram de 20,5 e 32 milhões de unidades, respectivamente, e o número estimado de unidades condensadoras era de 34 milhões de unidades. Em 2006, estimava-se que o banco de refrigerantes tinha 340 mil toneladas e era distribuído da seguinte forma: 46% em sistemas centralizados, 47% em unidades condensadoras e 7% em equipamentos compactos. A divisão estimada dos refrigerantes por tipo é de cerca de 15% de CFCs que ainda estão em uso nos países do Artigo 5, 62% de HCFCs como banco de refrigerante dominante e ainda por muitos anos e 23% de HFCs que foram introduzidos em novos equipamentos na Europa e no Japão a partir de 2000.

Equipamento compacto: O HFC-134a supre a maioria das limitações técnicas em termos de confiabilidade e desempenho energético para equipamentos compactos. Quando o PAG do HFC-134a é considerado proibitivo em relação às emissões de HFC (regulamentação do país ou política da empresa), refrigerantes hidrocarbonetos (isobutano e propano, ou seja, HC-600a e HC-290) ou CO₂ (R-744) são as soluções alternativas atuais, apresentando na maioria dos casos a mesma confiabilidade técnica e o mesmo desempenho energético do HFC-134a. No futuro próximo, HFCs insaturados, como HFC-1234yf podem ser considerados como uma solução adaptada, já que o *retrofit* de HFC-134a para este novo refrigerante deverá ser bastante simples, embora a confiabilidade de longo prazo ainda tenha de ser avaliada. Padrões de eficiência energética estão sendo publicados ou revisados a fim de reduzir o consumo de energia de vários tipos de equipamento compacto.

Unidades condensadoras: Suas capacidades de refrigeração variam de 5 a 20 kW, principalmente em temperatura média. A carga de refrigerante varia de 1 a 5 kg para HCFCs ou HFCs e também HCs. O HCFC-22 ainda é o refrigerante mais usado nos EUA e em todos os países do Artigo 5. Para novos sistemas, o R-404A é a principal escolha por razões de custo. As unidades condensadoras que usam o fluido refrigerante R-404A são mais baratas em comparação com unidades que usam HFC-134a com a mesma capacidade de refrigeração em função do menor compressor. No entanto, em climas quentes e para aplicações de temperatura média, o HFC-134a é utilizado devido a seu melhor desempenho energético em altas temperaturas ambientes.

Sistemas de supermercado: O tamanho de sistemas centralizados pode variar de capacidades de refrigeração de cerca de 20 kW a mais de 1 mW dependendo do tamanho do supermercado. As cargas de refrigerante vão de 40 até 1.500 kg por instalação. O principal refrigerante usado em sistemas centralizados ainda é o HCFC-22. Na Europa, novos sistemas foram carregados principalmente com de R-404A, mas o HFC-134a, a amônia (R-717), HCs e R-744 foram testados em muitas lojas. O R-744 agora é considerado a solução padrão pelos dois principais fabricantes europeus. Várias configurações foram experimentadas em centenas de lojas: sistemas distribuídos, sistemas indiretos, sistemas em cascata. Esses *designs* foram desenvolvidos a fim de reduzir a carga de refrigerante altamente inflamável ou tóxico e para limitar a carga de HFC com PAG alto. No nível de baixa temperatura, o uso de R-744 aparece como uma opção interessante em termos de PAG, eficiência energética e até mesmo de custos, especialmente quando os HFCs são altamente tributados. Na temperatura de nível médio, a busca pela melhor opção ainda está em curso. No curto prazo, a manutenção do HCFC-22 atual pode representar um problema devido à possível escassez desse refrigerante. Diversas misturas com HFC são propostas para o *retrofit* de instalações com HCFC-22, com ou sem troca de óleo, mas essas misturas para *retrofit* ainda não ganharam força significativa.

Capítulo 5: Sistemas industriais

Os sistemas industriais são caracterizados principalmente pelo tamanho do equipamento e pela faixa de temperatura abarcada pelo setor. Isso inclui refrigeração industrial, bombas de calor industriais e ar condicionado industrial. Os sistemas industriais têm necessidades especiais de design, incluindo a necessidade de serviço ininterrupto, que não são tipicamente atendidas por práticas tradicionais de HVAC. Sistemas de geração elétrica com ciclo rankine que usam fluidos relevantes também são considerados no capítulo sobre sistemas industriais.

R-717 é o refrigerante mais comum em sistemas industriais, embora haja variações regionais significativas em todo o mundo. Quando o R-717 não é aceitável por razões de toxicidade, o R-744 vem sendo usado, em cascata com uma instalação de R-717 menor, ou com um fluorcarbono ou rejeitando calor diretamente para a atmosfera em um sistema de alta pressão ("transcrítico"). Em alguns casos, por exemplo para o resfriamento de equipamentos de TI, o R-744 oferece vantagens adicionais de desempenho ou eficiência que lhe dão preferência em relação a qualquer outro refrigerante sem consideração de toxicidade ou impacto ambiental.

Há também um banco significativo de refrigerante HCFC em sistemas industriais, principalmente HCFC-22. A carga de um sistema individual pode ser alta – em alguns casos, várias toneladas de refrigerante. Esses sistemas tendem a ter uma vida mais longa do que equipamentos comerciais, muitas vezes durando mais de 20 anos, mas as taxas de vazamento podem ser elevadas, particularmente em instalações mais antigas. Uma mistura "drop-in" para substituir o HCFC-22 em sistemas industriais inundados ainda não foi desenvolvida; as misturas de substituição comumente usadas em refrigeração comercial, como R-407A ou R-422D, são difíceis ou impossíveis para uso em grandes sistemas industriais. O custo dessas misturas é também uma barreira significativa a seu uso.

Os HFCs não têm sido amplamente utilizados em grandes sistemas industriais. Nos casos em que eles foram adotados, isso ocorreu geralmente em sistemas de baixa carga, a fim de reduzir as consequências financeiras da perda de refrigerante. É muito improvável que refrigerantes HFC insaturados, em compostos isolados ou misturas, sejam aprovados para uso em sistemas industriais, porque, além das considerações de custos, o risco de decomposição do refrigerante devido à presença de contaminantes é muito grande. HFC-245fa e HFC-134a também são usados em unidades de geração de energia, utilizando o ciclo Rankine, embora esses sistemas ainda não estejam amplamente disponíveis no mercado.

Usuários de HCFCs em sistemas industriais menores estão agora diante da escolha de mudar para HFCs e enfrentar uma possível limitação em seu uso ou mudar para R-717 ou R-744 e lidar com a mudança nas práticas operacionais que os refrigerantes exigiriam.

Capítulo 6: Transporte Refrigerado

Transporte refrigerado inclui transporte de produtos refrigerados ou congelados, por meio de veículos rodoviários, vagões ferroviários, contêineres intermodais e pequenos recipientes isolados (menos de 2 m³) e caixas. Também inclui o uso de refrigeração e ar condicionado em embarcações mercantes, navais e de pesca acima de 100 toneladas de arqueação bruta (AB) (mais de 24 m de comprimento).

Transporte refrigerado é um mercado de nicho em termos de bancos de refrigerante em comparação com outros setores. Há cerca de 4.000.000 unidades de refrigeração para transporte rodoviário e cerca de 950 mil unidades de contêineres marítimos em operação hoje, para mencionar apenas os maiores segmentos em termos de tamanho de frota. A maioria dos equipamentos tem carga de refrigerante inferior a 6 kg. Embora a carga de refrigerante possa chegar a várias toneladas a bordo de navios de grande porte, sua frota é relativamente pequena. Há aproximadamente 150.000 embarcações marítimas acima de 100 AB na frota mundial; embarcações de pequeno e médio porte são a maioria.

A vida útil dos equipamentos é geralmente de 10 a 15 anos para contêineres intermodais, vagões ferroviários e veículos rodoviários e de 20 a 25 anos para os equipamentos a bordo de embarcações marítimas.

O ciclo de compressão de vapor é a tecnologia usada predominantemente em equipamentos de refrigeração de transporte. Refrigerantes CFC e HCFC podem ser encontrados em equipamentos mais antigos. O HCFC-22 tem uma participação baixa em contêineres intermodais e equipamentos rodoviários, mas uma elevada percentagem em vagões ferroviários (mercado em declínio) e uma parcela muito grande em embarcações

marítimas, entre as quais ainda é o principal refrigerante. Os bancos de CFC e HCFC estão em declínio. As opções de *retrofit* para o R-502 incluem R-408A, R-402A e R-404A.

Quase todos os novos sistemas utilizam refrigerantes HFC (R-404A, HFC-134a). Refrigerantes não fluorados foram comercializados em pequena escala para uso a bordo de embarcações marítimas (R-717, R-744) e testados em contêineres marítimos, trailers (R-744) e caminhões (R-290). A aplicação mais ampla desses refrigerantes na prática não foi possível até o momento por causa de várias limitações técnicas. Não há experiência prática com HFC-1234yf e outros fluidos de baixo PAG em transporte refrigerado.

Embora os hidrocarbonetos sejam tecnicamente viáveis e possam até mesmo superar os sistemas de HFC em desempenho, a inflamabilidade gera preocupações a respeito de seu uso. Quando inexistentes, normas precisam ser desenvolvidas para tratar das questões de segurança.

O dióxido de carbono (R-744) é uma das poucas soluções promissoras na refrigeração de transporte. Embora as emissões diretas de R-744 sejam insignificantes, as emissões indiretas de R-744 podem ser comparáveis aos HFCs dependendo do clima em que o veículo é operado. A bordo de embarcações marítimas, porque a operação em alta temperatura ambiente é normalmente necessária, o uso de R-744 tem sido limitado às fases de baixa temperatura de aplicações de sistema em cascata ou indireto.

Em função de questões de segurança, o uso de amônia (R-717) tem sido limitado a sistemas indiretos e em cascata em navios maiores, que não transportam passageiros, mas apenas tripulantes profissionais. Os refrigerantes HFC continuarão sendo utilizados nas embarcações de passageiros e em navios pequenos de todas as categorias. A amônia não tem sido utilizada em veículos rodoviários e transporte de contêineres em ciclos de compressão de vapor.

A indústria do transporte está trabalhando para reduzir as emissões globais de CO₂. O tipo de refrigerante pode influenciar as emissões diretas e indiretas equivalentes de CO₂ de um veículo. A redução de carga de refrigerante, a minimização da taxa de vazamento de refrigerante (por exemplo, com o uso de compressores herméticos/semi-herméticos, em vez de unidade aberta) e o uso de fluidos refrigerantes de baixo PAG influenciam a contribuição direta. Alterações de design que melhorem a eficiência energética podem reduzir a contribuição indireta.

A transição de sistemas de alimentação dos motores a diesel tradicionais para sistemas de propulsão alternativos (híbridos, elétricos, etc) influenciará a mudança do sistema de refrigeração e a escolha de refrigerantes com baixo PAG no futuro.

Como em outros setores de refrigeração, a pesquisa e o desenvolvimento de outros sistemas *not in kind*, como a refrigeração magnética ou acústica, permanece em fase de protótipo de laboratório. Sistemas de absorção e adsorção com água também estão em desenvolvimento.

Capítulo 7: Condicionadores e bombas de calor ar-a-ar

Em uma base global, condicionadores de ar para refrigeração e aquecimento (incluindo bombas de calor ar-ar) que variam em tamanho de 2,0 kW a 420 kW compõem um segmento significativo do mercado de ar condicionado (a maioria tem menos de 35 kW). Quase todos os aparelhos de ar condicionado e bombas de calor fabricados antes de 2000 utilizavam HCFC-22 como fluido de trabalho. A base instalada de unidades em 2008 representava um banco estimado de HCFC-22 superior a um milhão de toneladas métricas. Aproximadamente 85% da população instalada usa HCFC-22. Em 2008, a demanda global de HFC representava aproximadamente 32% da demanda total de refrigerante para essas categorias de produtos. A maioria dos países do Artigo 5 ainda utilizam o HCFC-22 como refrigerante principal em aplicações de condicionamento de ar.

Opções para novos equipamentos

Misturas de refrigerante HFC R-410A e R-407C são as principais alternativas usadas para substituir HCFC-22 em condicionadores de ar. O HC-290 também é usado para substituir HCFC-22 em produtos com baixas cargas de refrigerante.

Condicionadores de ar que usam R-410A e R-407C estão amplamente disponíveis na maioria dos países não incluídos no Artigo 5. Além disso, equipamentos que utilizam R-410A e R-407C são fabricados em alguns países do Artigo 5, especialmente na China, onde um grande mercado de exportação criou uma demanda para esses produtos. No entanto, essas unidades não são normalmente vendidas no mercado doméstico em função de seu custo mais elevado.

Há várias alternativas com PAG baixo e médio em consideração como possíveis substitutas para o HCFC-22 e HFCs de alto PAG (R-410A e R-407C). Esses refrigerantes incluem refrigerantes HFC com menor PAG, HC-290 e R-744. O HC-290 e alguns dos refrigerantes HFC são inflamáveis e deverão ser aplicados de acordo com um padrão de segurança adequado, como IEC-60335-2-40, que estabelece níveis máximos de carga e requisitos de ventilação.

Vários refrigerantes HFC com PAG moderado e baixo estão sendo considerados para uso em aparelhos de ar condicionado. HFC-32, HFC-152a, HFC-161, HFC-1234yf e misturas de HFC-1234yf com outros refrigerantes:

- ♦ O HFC-32 é um HFC inflamável da classe A2L com PAG de 675, que é aproximadamente 30% do valor apresentado pelo R-410A. Sistemas com R-410A podem ser reprojatados para HFC-32 com pequenas modificações. No entanto, devido a sua classificação de inflamabilidade A2L, deverão ser aplicados com um padrão de segurança, como IEC-60335-2-40.
- ♦ O HFC-152a é um HFC inflamável A3 com baixo PAG com características termodinâmicas semelhantes às do HFC-134a. Embora tenha sido avaliado como uma alternativa ao HCFC-22, é improvável que seja comercializado em aplicações de condicionamento de ar unitário porque sua baixa densidade e sua inflamabilidade resultam em sistemas com maiores custos.
- ♦ O HFC-161 é um refrigerante inflamável com baixo PAG que é avaliado como alternativa de baixo PAG para o HCFC-22. Como todos os refrigerantes inflamáveis, ele precisaria ser aplicado utilizando normas de segurança adequadas.
- ♦ O HFC-1234yf puro provavelmente não será usado como substituto para o HCFC-22 em condicionadores de ar por causa de sua capacidade volumétrica baixa. No entanto, o HFC-1234yf pode ser misturado com outros refrigerantes não SDO para chegar a propriedades termodinâmicas semelhantes às do HCFC-22 ou do R410A. Misturas desse tipo estão em desenvolvimento, mas não estão disponíveis comercialmente.

Refrigerantes hidrocarbonetos também são alternativas de baixo PAG aos HCFCs e HFCs para aplicações de carga baixa. O refrigerante hidrocarboneto mais utilizado em aplicações de ar condicionado é o HC-290. A alta inflamabilidade do HC-290 limita seu uso a aplicações com menor carga. Todos os refrigerantes inflamáveis devem ser aplicados utilizando uma norma de segurança aplicável, como IEC-60335-2-40, que trata dos requisitos de design e de limites de carga para refrigerantes inflamáveis. Vários fabricantes na China e na Índia estão introduzindo aparelhos de ar condicionado split com baixa carga de HC-290.

R-744, CO₂, oferece várias propriedades desejáveis como refrigerante. No entanto, o R-744 tem baixa temperatura de ponto crítico, o que resulta em perdas de eficiência significativas quando é aplicado nas temperaturas típicas de ar interior e exterior de aplicações de ar condicionado ar-ar, especialmente em alto clima ambiente. No entanto, uma série de melhorias de ciclo e adições de componentes podem ser feitas para melhorar a eficiência dos sistemas de R-744. Embora a adição de certos componentes possa melhorar a eficiência dos sistemas de R-744, ela também aumenta substancialmente o custo do sistema. Para que sistemas de R-744 se tornem comercialmente viáveis, uma mitigação da relação custo-benefício do problema de eficiência será necessária.

Considerações sobre alta temperatura ambiente

No curto prazo, as regiões com climas quentes devem poder contar com os refrigerantes e tecnologias atualmente disponíveis no mercado para substituir o HCFC-22 (R-407C, R-410A e HC-290). No entanto, ao substituir produtos de HCFC-22 por aqueles que utilizam R-410A ou R-407C, o engenheiro de aplicação deverá considerar cuidadosamente a capacidade reduzida na temperatura ambiente de design ao dimensionar o equipamento para a carga de refrigeração do design. Ao substituir o HCFC-22 em aplicações de baixa

carga (pequenos condicionadores de ar split, de janela e portáteis), o projetista do sistema deve considerar o uso do HC-290. No longo prazo produtos com HFC-32, novas misturas de HFC com PAG baixo e médio e HC-290 são as opções preferíveis para aplicações de ar condicionado em alta temperatura ambiente. O R-744 não é uma opção preferencial para aplicações de ar condicionado com alta temperatura ambiente, porque sua temperatura crítica muito baixa resulta em redução significativa no desempenho durante a operação.

Capítulo 8: Bombas de calor aquecidas com água

As bombas de calor são classificadas por fonte de calor (ar, água ou solo) e dissipador de calor (ar, água), resultando em designações como bombas de calor "ar-água" (fonte de ar, dissipador de água). Este capítulo trata somente de sistemas em que a água é o dissipador. Os produtos para aquecimento de processos industriais são discutidos no capítulo 5, "Sistemas industriais". Bombas de calor ar-a-ar são discutidas no capítulo 7 (*Condicionadores e bombas de calor ar-ar*).

Aquecedores de água com bomba de calor são projetados especialmente para aquecimento de água quente de serviço (incluindo água doméstica) a uma temperatura entre 55 e 90 °C.

Bombas de calor para aquecimento de ambientes aquecem a água para distribuição às unidades de tratamento de ar, radiadores ou painéis sob o piso. A temperatura necessária da água depende do tipo de transferência de calor, variando de 25 a 35 °C para o aquecimento sob o piso; para aplicações de temperatura moderada, como unidades de tratamento de ar, fica em torno de 45 °C; para aplicações em alta temperatura, como aquecimento por radiação ela é de 55 a 60 °C e, para aplicações em temperatura muito alta, ela pode chegar a 65-80 °C, por exemplo, para o mercado de substituição de caldeiras de combustível fóssil. A temperatura da água quente necessária afeta a escolha do refrigerante. Sistemas de bomba de calor são mais eficientes em temperaturas de dissipação mais baixas, mas cada produto deve cumprir com a temperatura de operação requerida.

Bombas de calor ar-água apresentaram um crescimento significativo no Japão, na Europa, na China e na Austrália nos últimos cinco anos.

Bombas de calor eficientes podem reduzir o impacto do aquecimento global em comparação com sistemas de queima de combustíveis fósseis de forma significativa. A redução depende do nível de eficiência da bomba de calor e da emissão de carbono por kWh de geração de eletricidade. A tendência de descarbonização da energia elétrica fortalece esse efeito positivo a cada ano. Também os níveis de eficiência das bombas de calor estão melhorando ano a ano. No entanto, as bombas de calor tendem a ter maiores custos do que os sistemas de combustíveis fósseis, porque empregam complicados circuitos de refrigeração, trocadores de calor maiores e outros recursos especiais. Programas governamentais de apoio na Europa e no Japão para promover sistemas de bomba de calor resultaram em um crescimento rápido das vendas nos últimos anos. Mais de 1 milhão de bombas de calor ar-água foram vendidas no mundo em 2008. As previsões de vendas apontam crescimento muito grande nos EUA, no Japão, na China e na Europa.

Opções de refrigerante atuais para novas bombas de calor

HFC-134a e as misturas de HFC R-407C e R-410A são usados atualmente em novas bombas de calor para aquecimento de água e de espaço para substituir o HCFC-22, o R-407C com redesign de produtos limitado e o R-410A para produtos completamente reprojatados.

O HC-290 tem propriedades semelhantes às do HCFC-22 além da inflamabilidade. Até 2004, quase a metade das bombas de calor vendidas na UE usavam HC-290. O uso na Europa vem diminuindo em função da introdução da Diretiva de Equipamento Pressurizado.

O desenvolvimento de bombas de calor com R-744 começou por volta de 1990. Aquecedores de água com bomba de calor com R-744 foram introduzidos no mercado do Japão, em 2001, para aquecimento de água para banho ou sanitária como aplicação principal. O mercado de aquecedores de água com bomba de calor no Japão está em constante crescimento com base em incentivos governamentais e para serviços públicos.

Embora o mercado atual para bombas de calor para aquecimento de espaços para edifícios comerciais com sistemas combinados de radiador e aquecimento de ar seja limitado, o R-744 é considerado um refrigerante promissor. O R-717 é um refrigerante não SDO e tem PAG muito baixo, mas tem maior toxicidade e características de inflamabilidade inferiores. O R-717 é utilizado principalmente para sistemas de grande capacidade.

Opções de refrigerante futuras para novas bombas de calor

O HFC-32 tem PAG menor que um terço do valor do R-410A. Bombas de calor com HFC-32 podem atingir cargas menores que as bombas de calor com R-410A. O HFC-32 tem baixa inflamabilidade, com baixa velocidade de queima. O HFC-1234yf é semelhante ao HFC-134a em propriedades termofísicas. Para bombas de calor para aquecimento de água e de espaços que usam HCFC-22, R-410A, R-407C, mudanças de design significativas seriam necessárias para otimizar para o uso de HFC-1234yf. O HFC-1234yf tem baixa inflamabilidade, com baixa velocidade de queima. Devido ao baixo valor do PAG, tem grande potencial em aplicações em sistemas que atualmente usam HFC-134a. Como a fonte de amostra desses refrigerantes é muito limitada, é muito cedo para julgar se algum desses produtos químicos será comercializado e irá mostrar desempenho aceitável em sistemas de bomba de calor. Opções futuras de refrigerantes para novas bombas de calor incluem as opções atuais R-410A, HFC-134a, HC-290, HC 600a, R-744 e R-717, bem como HFC-32 e novos refrigerantes.

Uma vez que o número de bombas de calor discutido no presente capítulo ainda é limitado, o banco de refrigerantes é relativamente pequeno. Da mesma forma, as emissões de refrigerante são baixas se comparadas às de outros produtos. Por outro lado, a quantidade de bombas de calor aumentará, resultando em maiores necessidades líquidas de refrigerante e emissões no futuro. No entanto, é importante ressaltar que há grande potencial de redução de emissões de CO₂ geradas por sistemas de combustão de combustíveis fósseis, substituindo-os por sistemas de bomba de calor.

Capítulo 9: Chillers

Os chillers são usados predominantemente para o condicionamento de ar de conforto em edifícios comerciais e complexos de edifícios. Eles são associados a sistemas de distribuição de “água gelada” e de tratamento de ar/distribuição de ar. Chillers também são usados para resfriamento em instalações comerciais e industriais, tais como centros de processamento de dados e comunicações, fabricação de produtos eletrônicos, e moldagem.

Os chillers a ar em capacidades de até 1800 kW representam aproximadamente 80% da produção anual de unidades de chillers com compressores de deslocamento positivo (alternativo de pistão, *scroll* e de parafuso). HFC-134a e R-410A são os refrigerantes mais comuns com a eliminação do HCFC-22. O R-407C tem sido usado como refrigerante de transição. Alguns chillers estão disponíveis com R-717 ou refrigerantes hidrocarbonetos – principalmente HC-290, HC-600a ou HC-1270. Tais chillers são fabricados em pequenas quantidades em comparação com chillers com HFC-134a e R-410A de capacidades semelhantes e necessitam de atenção à inflamabilidade; no caso do R-717, há também questões de toxicidade, conforme refletido em códigos e regulamentos de segurança. Chillers que empregam R-744 como fluido refrigerante estão sendo comercializados.

Para chillers resfriados a água, tanto compressores de deslocamento positivo quanto compressores centrífugos são usados. Chillers de deslocamento positivo resfriados a água empregam os mesmos refrigerantes que as versões com resfriamento a ar. Chillers centrífugos são predominantes com capacidade acima de 2 mW. Chillers centrífugos são fornecidos com refrigerantes HCFC-123 ou HFC-134a, embora seja feito uso extremamente limitado de HFC-245fa. O HFC-123 oferece uma eficiente opção com PAG muito baixo para chillers centrífugos. De acordo com os termos do Protocolo de Montreal, o uso do HCFC-123 em novos equipamentos vai acabar na maioria dos países desenvolvidos até 2020; e até 2030 nos países do Artigo 5.

Os chillers existentes que empregam refrigerantes CFC estão sendo substituídos lentamente por novos chillers que usam HCFC-123 ou HFC-134a. Os novos chillers usam 25-50% menos eletricidade que os chillers com CFC produzidos há décadas. Portanto, a economia em custos de energia muitas vezes justifica a substituição de chillers antigos com CFC. O R-717 não é adequado para uso em chillers resfriadores

centrífugos, pois seu uso exigiria quatro ou mais estágios ou, para capacidades muito grandes, uma mudança para *designs* com compressor axial.

Uma tendência constante no desenvolvimento de chillers é melhorar a eficiência energética, tanto de plena carga quanto sazonal, para tratar dos impactos do aquecimento global relacionados à energia e dos custos operacionais. Vários métodos são usados para obter maior eficiência sazonal. Estes incluem compressão em múltiplos estágios com economizadores entre estágios, uso de vários compressores para acomodar condições de carga parcial, capacidade contínua de descarga para compressores parafuso, melhores controles eletrônicos, controle de rotação do compressor e sequenciamento de múltiplos chillers para maximizar a eficiência geral.

Os refrigerantes sugeridos como alternativas a refrigerantes SDOs ou de alto PAG em chillers incluem R-717, hidrocarbonetos, R-744, R-718, HFC-32 e novos refrigerantes com baixo PAG, como HFC-1234yf. Os chillers que usam R-718 como refrigerante têm um custo adicional em relação aos sistemas convencionais por causa de seu grande tamanho físico e da complexidade de sua tecnologia de compressor, que muitas vezes exige *designs* de compressor axial que operem em alto vácuo. O HFC-1234yf e outros refrigerantes com PAG baixo ou ultrabaixo são demasiado novos para que sua adequação para uso em chillers seja avaliada no momento, mas é provável que isso mude futuramente.

Chillers a absorção que usam pares de refrigerante amônia-água (principalmente em pequenas capacidades) ou água-brometo de lítio (geralmente em grandes capacidades) são uma alternativa a chillers que empregam o ciclo de vapor de compressão. Eles são particularmente adequados para aplicações em que o calor rejeitado pode ser recuperado. Outras tecnologias *not in kind* em fase de pesquisa, como tecnologias termoacústicas ou magnetocalóricas, ainda não estão prontas para comercialização e podem não ser consideradas adequadas ou competitivas.

De particular interesse para a destruição do ozônio e a mudança climática global, os chillers apresentam taxas de liberação de refrigerantes muito baixas. O principal impacto ambiental de chillers é gerado aquecimento global relacionado à energia que eles consomem durante a sua vida operacional (tipicamente de 20 anos e às vezes de mais de 40 anos). As emissões de refrigerante, com suas contribuições diretas de aquecimento global, são uma pequena fração do impacto de aquecimento global dos resfriadores, exceto em regiões com intensidade de carbono muito baixa na geração de energia.

Capítulo 10: Ar condicionado de veículos (MAC)

Atualmente, todos os novos automóveis de passageiros do mundo vendidos com sistemas de ar condicionado usam HFC-134a e a transição do CFC-12 está concluída. Cerca de um quinto do total das emissões globais de refrigerante são de MACs (cerca de 60% se apenas as emissões de refrigerante HFC forem consideradas). Isso inclui as emissões na produção, no uso, na manutenção e em fim de vida. Nos EUA, de acordo com resultados de pesquisas recentes, 19% da frota de veículos de passageiros ainda usam refrigerante CFC-12. A União Europeia tem uma legislação local para carros e caminhões leves que proíbe o uso de fluidos refrigerantes com PAG > 150 [por exemplo, HFC-134a] em modelos novos a partir de 2011 e em todos os veículos novos a partir de 2017. Há uma quantidade limitada de refrigerantes de substituição com potencial de aquecimento global (PAG) inferior a 150. Outros países provavelmente seguirão a instrução regulatória da UE ou fornecerão incentivos para a redução do uso de HFC-134a em veículos.

Para sistemas MAC, o uso de hidrocarbonetos ou de misturas de hidrocarbonetos como refrigerante vem sendo estudado, mas até agora não recebeu o apoio de fabricantes de veículos como possível tecnologia alternativa devido a questões de segurança. Na Austrália e na América do Norte, refrigerantes hidrocarbonetos foram introduzidos como refrigerantes “*drop-in*” para substituir refrigerantes CFC-12 (ilegais nos EUA e em alguns estados australianos). Esses mesmos refrigerantes são usados em menor grau para a substituição de HFC-134a.

Até o momento, os fabricantes de automóveis e fornecedores já avaliaram três opções de refrigerante para novos sistemas de ar condicionado de automóveis e caminhões: R-744, HFC-152a e HFC-1234yf. Essas três opções têm PAG abaixo do limiar da UE de 150 e podem atingir eficiência de combustível comparável à de sistemas existentes com HFC-134a. O impacto das emissões diretas de CO₂ equivalente do refrigerante durante a vida útil do veículo é muito menor do que o impacto relacionado com a energia necessária para operar o sistema. A energia necessária para operar os MACs resulta no aumento das emissões de CO₂ pelo escapamento de veículos. Por isso, sistemas MAC projetados para fornecer desempenho de refrigeração

eficiente se tornaram o principal objetivo ambiental. Com o uso de controles e componentes adequados, todas as três opções de refrigerante se mostraram comparáveis ao HFC-134a em relação ao desempenho de resfriamento e emissões totais de CO₂ equivalente.

Assim, o impacto de aquecimento global é quase idêntico para todas as três opções de refrigerante quando considerado globalmente. A adoção de qualquer uma das opções de refrigerante traria, portanto, benefício ambiental semelhante. A decisão sobre qual refrigerante escolher terá de ser feita com base em outras considerações, como aprovação regulatória, custo, confiabilidade do sistema, segurança, capacidade, adequação para veículos híbridos elétricos e manutenção.

O novo refrigerante escolhido por fabricantes de automóveis de todo o mundo para futuros sistemas de ar condicionado de veículos parece ser HFC-1234yf. Um fabricante anunciou a intenção de introduzir esse refrigerante na produção de carros de série em 2013. Atualmente, existem obstáculos (miscibilidade com óleo, problemas de estabilidade na presença de pequenas quantidades de água e ar no sistema de ar condicionado, mistura com HFC-134a, custos adicionais), que deverão ser superados antes da implementação comercial do HFC-1234yf como refrigerante de ar condicionado de veículos. OEMs indicam que irão projetar sistemas MAC com HFC-1234yf de forma que esses sistemas também possam ser usados com segurança com o refrigerante HFC-134a. Isso afetará a transição mundial do HFC-134a para o HFC-1234yf em MAC.

O status de desenvolvimento de outras tecnologias de refrigeração, como sistemas de sorção ou termelétricos, ainda está longe de produção em série e atualmente apresenta competitividade de preços muito baixa e mau desempenho e eficiência do sistema.

A rápida evolução dos veículos elétricos híbridos e dos veículos elétricos com compressores acionados eletricamente introduz novos desafios para qualquer novo refrigerante alternativo. Atualmente, não existe regulamentação que controle o uso de gases de efeito estufa fluorados como refrigerantes para sistemas MAC em ônibus e trens. A escolha de refrigerante dos sistemas de ar condicionado de automóveis de passageiros provavelmente irá influenciar a escolha de refrigerante para sistemas de ar condicionado em ônibus e trens.

Em todo o mundo, aproximadamente 50% da frota de ônibus e trens ainda é equipada com sistemas com HCFC-22. O restante usa principalmente sistemas com HFC-134a ou R-407C. A maioria dos novos sistemas de ar condicionado de ônibus ou trens é equipada com os refrigerantes HFC-134a ou R-407C. As únicas ações relatadas em relação a refrigerantes com baixo PAG são testes que estão sendo realizados em ônibus com sistemas que usam R-744.

Capítulo 1:

Introdução

Autores Principais do Capítulo

Lambert Kuijpers

Roberto de A. Peixoto

1 Introdução

1.1 Desenvolvimentos do Protocolo de Montreal

Em 1981, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) iniciou negociações para o desenvolvimento multilateral da proteção da camada de ozônio estratosférico. Essas negociações resultaram na Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio, adotada em março de 1985. Em setembro de 1987, 24 nações, entre elas Estados Unidos, Japão, União Soviética, um grande número de países da Europa Ocidental, Egito, Gana, Quênia, México, Panamá, Senegal, Togo e Venezuela, bem como a Comunidade Europeia como organização regional, assinaram o Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio. O Protocolo de Montreal entrou em vigor em 01 de janeiro de 1989. Esse acordo internacional ambiental originalmente limitava a produção de CFCs especificados a 50% dos níveis de 1986 até o ano de 1998 e pedia o congelamento da produção dos halons especificados nos níveis de 1986, a partir de 1992. Em abril de 1991, 68 nações já haviam ratificado o Protocolo: elas representavam mais de 90% da produção mundial de CFCs e halons em 1991. Atualmente, todos os países do mundo já ratificaram a Convenção de Viena e o Protocolo de Montreal e, por isso, suas decisões são verdadeiramente globais.

Logo depois que o Protocolo de 1987 foi negociado, novas provas científicas ligaram os CFCs de maneira conclusiva à destruição da camada de ozônio e indicaram que o desgaste já havia ocorrido. Consequentemente, muitos países clamaram por outras ações de proteção à camada de ozônio, expandindo e fortalecendo as disposições de controle originais do Protocolo de Montreal, e decidiram que uma avaliação deveria ser realizada no ano de 1989.

Em junho de 1990, as Partes do Protocolo de Montreal se reuniram em Londres, consideraram os dados dos Relatórios de Avaliação de 1989 e concordaram a respeito de ajustes ao Protocolo que exigiam controles mais rigorosos sobre os CFCs e halons, conforme especificado no acordo original. Elas também concordaram com alterações que estabeleciam controles sobre outras substâncias que destroem o ozônio, incluindo o tetracloreto de carbono e o 1,1,1-tricloroetano. Em Londres, uma nova avaliação foi novamente decidida, sendo realizada em 1991, para apreciação em 1992. A Emenda de Londres reconheceu a necessidade de assistência financeira e técnica aos países em desenvolvimento e estabeleceu um Fundo Multilateral (Provisório).

Em sua 4ª. Reunião em Copenhague, na Dinamarca, as Partes consideraram os Relatórios de Avaliação e tomaram decisões que avançaram novamente os cronogramas de eliminação em países não incluídos no Artigo 5 para a maioria das substâncias que destroem o ozônio, incluindo o brometo de metila. Elas deram continuidade ao mecanismo financeiro e decidiram que uma nova avaliação deveria ser realizada em 1994 (Decisão IV/13), para as decisões pelas Partes, em sua reunião de 1995.

Na 7ª. Reunião, em Viena (novembro de 1995), as Partes consideraram os Relatórios de Avaliação e deram ênfase aos progressos realizados na eliminação de produtos químicos que destroem o ozônio. A redução no consumo anual máximo de HCFCs (o "*cap*") para os países desenvolvidos foi decidida (2,8% em vez de 3,1%, conforme decidido em Copenhague). Um cronograma de controle para o consumo de HCFC para os países do Artigo 5 foi acordado (na verdade, este consistia em congelamento do consumo até o ano de 2016 e sua eliminação até o ano de 2040). Artigo 5 países também concordaram em congelar seu consumo de brometo de metila até o ano de 2005. As Partes, na Decisão VII/34, solicitaram uma nova avaliação a ser realizada pelos Painéis de Avaliação no ano de 1998.

Termos de Referência atualizados e mais detalhados para o Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica e seus Comitês de Opções Técnicas (em comparação com as originais de 1989) foram decididos e fornecidos no Relatório de 1996 do Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica (esses TOR foram novamente considerados à luz da divulgação de interesses e conflitos de interesse na 18ª. Reunião das Partes (2006), em Nova Déli, na qual uma Decisão separada sobre esses temas foi tomada).

A 15ª. Reunião das Partes, realizada em Nairóbi em novembro de 2003, considerou os Relatórios de Avaliação de 2002, bem como uma série de outras questões, incluindo tecnologias de destruição, usos como agente de processo e manipulação e destruição de espumas no fim de sua vida útil. As Partes decidiram solicitar que os Painéis de Avaliação atualizassem seus relatórios de 2002 em 2006 e os enviassem à Secretaria até 31 de dezembro de 2006 para consideração pelo Grupo de Trabalho Aberto e

pela Décima Nona Reunião das Partes em 2007 (MOP-19 realizada em Montreal em setembro de 2007). Na Decisão em questão (XV/53), as partes também solicitaram que o TEAP considerasse, entre outros assuntos, cinco questões específicas, incluindo “(c) Opções técnica e economicamente viáveis para a eliminação de substâncias destruidoras de ozônio pelo uso de alternativas com desempenho ambiental superior em relação às mudanças climáticas, saúde humana e sustentabilidade” e “(e) Relatório de produção e utilização de substâncias que destroem a camada de ozônio e de substâncias que destroem a camada de ozônio em estoque ou contidas em produtos”.

A 19ª. Reunião das Partes, realizada em Montreal, em setembro de 2007 (por ocasião do vigésimo aniversário do Protocolo) chegou a um acordo para ajustar o cronograma do Protocolo de Montreal para eliminação da produção e do consumo de HCFCs. Essa decisão resultará em redução significativa da destruição do ozônio e do aquecimento global ou de pressões sobre o clima global. Essa reunião também considerou todos os Relatórios de Avaliação de 2006, além de diversas outras questões. As Partes decidiram solicitar que os Painéis de Avaliação atualizassem seus relatórios de 2006 em 2010 e os enviassem à Secretaria até 31 de dezembro de 2010 para consideração pelo Grupo de Trabalho Aberto e pela Vigésima Terceira Reunião das Partes em 2011 (MOP-23). Na Decisão relevante (XIX/20), as Partes também solicitaram, no parágrafo 6, que o TEAP (e seus TOCs) considerassem:

- (a) O impacto da eliminação de substâncias que destroem a camada de ozônio sobre o desenvolvimento sustentável, particularmente em Partes que operam de acordo com o parágrafo 1 do Artigo 5 e em países com economias em transição;
- (b) Progresso técnico em todos os setores;
- (c) Escolhas técnica e economicamente viáveis para a redução e eliminação de substâncias destruidoras da camada de ozônio por meio do uso de alternativas, tendo em conta seu impacto sobre as alterações climáticas e o desempenho ambiental global;
- (d) O progresso técnico na recuperação, reutilização e destruição de substâncias que destroem a camada de ozônio;
- (e) Relatórios sobre: a produção e o uso em diversas aplicações de substâncias que destroem a camada de ozônio; as substâncias que destroem a camada de ozônio em estoques; as substâncias que destroem a camada de ozônio em produtos e a produção e utilização em várias aplicações de substâncias com vida útil muito curta;
- (f) Relatório das emissões de todas as substâncias que destroem a camada de ozônio relevantes com vista à atualização contínua dos padrões de uso e à coordenação desses dados com o Painel de Avaliação Científica, a fim de conciliar periodicamente as emissões estimadas e as concentrações atmosféricas.

Juntamente com os relatórios de Avaliação Científica e de Efeitos Ambientais, o Relatório de Avaliação de 2010 do TEAP, associado aos Relatórios de Avaliação de 2010 dos TOCs, constitui a resposta direta à decisão acima referida.

Na importante Decisão XIX/6 sobre a eliminação de HCFCs para os países em desenvolvimento, tomada na MOP-19, em Montreal, em setembro de 2007, os subparágrafos mencionam:

“Incentivar as Partes a promover a seleção de alternativas aos HCFCs que minimizem os impactos ambientais, em particular os impactos sobre o clima, bem como a cumprir com outras considerações de saúde, segurança e economia;

Concordar que o Comitê Executivo, no desenvolvimento e aplicação de critérios de financiamento para projetos e programas e tendo em conta o parágrafo 6, dê prioridade a projetos com boa relação custo-benefício e a programas que enfatizem, entre outros:

1. A eliminação, primeiro, dos HCFCs com maior potencial de destruição do ozônio, tendo em conta as circunstâncias nacionais;
2. Substitutos e alternativas que minimizem outros impactos sobre o meio-ambiente, incluindo o clima, tendo em conta o potencial de aquecimento global, o uso de energia e outros fatores relevantes, etc.”

Na Decisão XX/8 sobre substitutos para HCFCs e HFCs, tomadas na MOP-20, em Doha, menciona-se que mais informações sobre o processo de substituição de HCFC e HFC são necessárias:

“Reconhecendo que a Decisão XIX/6 incentiva as Partes a promover a seleção de alternativas aos hidroclorofluorcarbonetos para minimizar os impactos ambientais, especialmente os impactos sobre o clima,

Reconhecendo também que há espaço para coordenação entre o Protocolo de Montreal e a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e seu Protocolo de Kyoto para reduzir as emissões e minimizar os impactos ambientais de hidrofluorcarbonetos e que as Partes do Protocolo de Montreal e órgãos associados têm experiência considerável nessas áreas que poderiam compartilhar,

Reconhecendo ainda que há necessidade de mais informações sobre as implicações ambientais de transições possíveis de substâncias que destroem a camada de ozônio para produtos químicos de alto potencial de aquecimento global, em particular os hidrofluorcarbonos,

- 1. Solicitar ao Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica que atualize os dados contidos no Suplemento de 2005 do Painel ao Relatório Especial do IPCC/TEAP e informe sobre o status de alternativas aos hidroclorofluorcarbonos e hidrofluorcarbonos, incluindo uma descrição dos diversos padrões de uso, custos e potenciais de penetração no mercado de alternativas até 15 de maio de 2009;*
- 2. Solicitar ao Secretariado do Ozônio que prepare um relatório que compile medidas de controle, limites e informações atuais sobre os requisitos de relatório para compostos que são alternativas às substâncias destruidoras da camada de ozônio e que são tratados no âmbito de acordos internacionais relevantes para a mudança climática, etc.*

Na Decisão XXI/9 sobre substitutos para HCFCs e HFCs, tomadas na MOP-21, em Port Ghalib, no Egito, menciona-se novamente que mais informações sobre o processo de substituição de HCFC e HFC são necessárias:

“Lembrando que a Decisão XIX/6 solicita que as Partes acelerem a eliminação da produção e do consumo de hidroclorofluorcarbonos (HCFCs);

Sabendo da necessidade de salvaguardar os benefícios de mudanças climáticas associados à eliminação dos HCFCs; Sabendo da crescente disponibilidade de alternativas com baixo Potencial de Aquecimento Global (PAG) aos HCFCs, em especial nos setores de refrigeração, ar condicionado e espumas;

Ciente também da necessidade de garantir adequadamente a implementação e o uso seguros de tecnologias e produtos com baixo PAG;

Lembrando os parágrafos 9 e 11 (b) da Decisão XIX/6;

- 1. Solicitar que o Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica (TEAP), em seu Relatório de Progresso de maio de 2010 e, posteriormente, em sua avaliação completa de 2010, forneça a mais recente avaliação tecnológica e econômica das alternativas disponíveis e emergentes e dos substitutos aos HCFCs e que o Painel de Avaliação Científica (PAC), em sua avaliação de 2010, avalie, utilizando uma metodologia abrangente, o impacto de alternativas aos HCFCs sobre o meio ambiente, inclusive sobre o clima e que o PAC e o TEAP integrem os resultados de suas avaliações em um relatório de síntese;*
- 2. Solicitar que o Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica, em seu relatório de progresso de 2010:*
 - (a) Liste todos os subsetores que usam HCFCs, com exemplos concretos de tecnologias em que alternativas com baixo PAG são utilizadas, indicando quais substâncias são usadas, as condições de aplicação, seus custos, a eficiência energética relativa das aplicações e, na medida do possível, os mercados disponíveis e a participação percentual nesses mercados e coletando informações concretas a partir de várias fontes, incluindo informações voluntariamente fornecidas pelas Partes e indústrias. Solicitar ainda que o TEAP compare essas alternativas com outras tecnologias existentes, especialmente com as tecnologias de alto PAG usadas nos mesmos setores;*

- (b) *Identifique e caracterize as medidas implementadas para garantir a aplicação segura dos produtos e tecnologias alternativos com baixo PAG, bem como os obstáculos a sua implementação, nos diferentes subsectores, coletando informações concretas a partir de várias fontes, incluindo informações voluntariamente fornecidas por Partes e indústrias;*
- (c) *Forneça uma categorização e reorganização das informações fornecidas anteriormente de acordo com a Decisão XX/8, conforme apropriado, atualizada na medida do possível, informe as Partes sobre os usos para os quais tecnologias com PAG baixo ou zero e/ou outras tecnologias adequadas estão disponíveis ou serão comercializadas no futuro próximo, incluindo, na medida do possível, a quantidade prevista de alternativas com alto PAG ao uso de substâncias que destroem a camada de ozônio que podem ser substituídas;*
3. *Solicitar ao Secretariado do Ozônio que forneça ao Secretariado da UNFCCC o relatório do workshop sobre alternativas com alto potencial de aquecimento global para substâncias que destroem a camada de ozônio;*
4. *Incentivar as Partes a promover políticas e medidas destinadas a evitar a seleção de alternativas com alto PAG aos HCFCs e outras substâncias destruidoras de ozônio, em aplicações para as quais existam outras alternativas disponíveis no mercado, comprovadas e sustentáveis que minimizem os impactos sobre o meio ambiente, inclusive sobre o clima, além de cumprir com outros requisitos de saúde, segurança e economia, de acordo com a Decisão XIX/6;*
5. *Incentivar as Partes a promover o desenvolvimento e disponibilidade de alternativas com baixo PAG para os HCFCs e outras substâncias que destroem a camada de ozônio que minimizem os impactos ambientais, particularmente para as aplicações específicas em que tais alternativas não são atualmente disponíveis e aplicáveis;*
6. *Solicitar ao Comitê Executivo, como uma questão de urgência, que acelere a finalização de suas orientações relativas aos HCFCs, de acordo com a Decisão XIX/6;*
7. *Solicitar que o Comitê Executivo, ao desenvolver e aplicar critérios de financiamento para projetos e programas, especialmente sobre a eliminação dos HCFCs:*
- (a) *tome em consideração o parágrafo 11 da Decisão XIX/6;*
- (b) *considere fornecer financiamento adicional e/ou incentivos para os benefícios climáticos adicionais, quando apropriado;*
- (c) *tome em conta, ao considerar a relação custo-benefício de projetos e programas, a necessidade de benefícios climáticos e*
- (d) *considere, de acordo com a Decisão XIX/6, demonstrar a eficácia de alternativas com baixo PAG aos HCFCs, inclusive nos setores de Ar Condicionado e Refrigeração em áreas com alta temperatura ambiente nos países do Artigo 5 e considere projetos de demonstração e piloto nos setores de Ar Condicionado e Refrigeração que apliquem alternativas ambientalmente seguras aos HCFCs;*
8. *Incentivar as Partes a considerar a revisão e a modificação, conforme adequado, de políticas e normas que constituem obstáculos ou limitam o uso e a aplicação de produtos com alternativas de PAG baixo ou zero às substâncias que destroem a camada de ozônio, especialmente durante a eliminação dos HCFCs.*

As decisões, conforme apresentadas acima, baseiam-se na percepção de que mais ações são necessárias para a proteção da camada de ozônio. No entanto, todos os parágrafos relevantes dão ênfase ao aspecto climático de substâncias de alto PAG que destroem a camada de ozônio, aos substitutos com PAG alto ou baixo e a seu impacto climático. A Decisão XXI/9, em particular, menciona várias vezes o desenvolvimento, a disponibilidade, a implementação e o uso de alternativas com baixo PAG aos HCFCs, além de incluir uma comparação com alternativas de alto PAG.

A maneira como o RTOC se envolveu no trabalho das Forças-Tarefa que trataram das solicitações das Partes nas Decisões XX/8 e XXI/9 é descrita na seção 1.2.

1.2 O Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica do PNUMA

Quatro Painéis de Avaliação foram definidos no Protocolo de Montreal original, assinado em 1987, quais sejam, os Painéis de Avaliação sobre (1) Ciência e sobre (2) Efeitos Ambientais, (3) um Painel de Avaliação Tecnológica e (4) um Painel de Avaliação Econômica. Os Painéis foram criados em 1988-89; seus Termos de Referência podem ser encontrados no Relatório da 1ª Reunião das Partes, realizada em Helsinque em 1989. No âmbito do Painel de Avaliação Tecnológica, foram definidos cinco Órgãos Subsidiários, os chamados Comitês de Opções Técnicas (ver Relatório da Primeira Reunião das Partes em Helsinque). Os Painéis de Avaliação Tecnológica e Econômica foram fundidos após a Reunião em Londres em 1990, passando a chamar-se Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica. Na Reunião de Copenhague, foi decidido que cada Painel de Avaliação deveria ter até três codiretores, com pelo menos um de um país do Artigo 5. Após as discussões sobre o brometo de metila realizadas durante a reunião em Copenhague, o Comitê de Opções Técnicas para o Brometo de Metila foi fundado em Haia, no início de 1993. De 1993 até 2001, o Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica (TEAP) do PNUMA tinha 7 Comitês de Opções Técnicas (TOCs) em atividade. Em 2001, o Comitê de Opções Econômicas foi dividido, resultando em um número de 6 Comitês. Em 2005, o TOC para Aerossóis e o TOC para Solventes foram dissolvidos, e um novo TOC para Usos Médicos e um TOC para Substâncias Químicas foram formados pela fusão de partes dos TOCs para Aerossóis e Solventes, sendo complementados por novos membros especialistas. Atualmente, existem os seguintes TOCs:

1. Comitê de Opções Técnicas para Substâncias Químicas
2. Comitê de Opções Técnicas para Espumas Rígidas e Flexíveis
3. Comitê de Opções Técnicas para Halons
4. Comitê de Opções Técnicas para Usos Médicos
5. Comitê de Opções Técnicas para o Brometo de Metila
6. Comitê de Opções Técnicas para Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor

Enquanto, originalmente, os Painéis eram considerados órgãos que deveriam realizar avaliações nos termos do artigo 6 do Protocolo de Montreal (pelo menos a cada quatro anos), o TEAP, particularmente, se tornou um “grupo consultivo permanente” para as Partes sobre um grande número de questões relacionadas ao Protocolo. A evolução do papel do TEAP – e de seus Comitês de Opções Tecnológicas e de outros Órgãos Subsidiários temporários – pode ser explicada pelo fato de que o foco do Protocolo de Montreal mudou da introdução e do fortalecimento de planos de controle (baseados em relatórios de avaliação) para o controle do uso de produtos químicos controlados e para o cumprimento do Protocolo. Isto implica o estudo de equipamentos, padrões de uso, comércio, importação e exportação, etc.

As Partes em Copenhague tomaram uma série de decisões, que dizem respeito ao trabalho do Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica e de seus Comitês. Uma decisão (IV/13) sobre "Progresso" solicitava que o TEAP e seus TOCs apresentassem anualmente um relatório sobre os progressos no desenvolvimento de tecnologia e de produtos químicos substitutos. Essa decisão foi reavaliada e reafirmada na reunião em Viena, em 1995 (VII/34). Como resultado, relatórios de progresso foram concebidos anualmente pelo TEAP e por seus Comitês; eles foram submetidos às Partes nos anos de 1996-2006 como parte do relatório anual do TEAP (assim como os relatórios de progresso, os relatórios anuais tratam de uma grande variedade de questões com base nas quais as Partes tomaram determinadas decisões no período de 1996-2006).

Em Viena, as Partes também solicitaram “oferecer a assistência dos Painéis de Avaliação Científica, de Efeitos Ambientais e Tecnológica e Econômica para o SBSTA, o Órgão Subsidiário de Ciência e Tecnologia no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), conforme necessário” (VII/34). O SBSTA incentivou a Secretaria a continuar sua estreita colaboração com outros organismos relevantes, como o Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, a respeito de questões técnicas e metodológicas. A fim de avaliar o status do uso de fluoroquímicos, o IPCC e o TEAP organizaram um workshop em Petten, na Holanda, em meados de 1999. Os resultados desse workshop foram relatado para o SBSTA, em outubro de 1999, antes da Quinta Conferência das Partes da UNFCCC (COP-5). Os resultados também foram usados na elaboração de um relatório do TEAP sobre HFCs e PFCs, publicado em outubro de 1999. Uma novo estudo a respeito do status dos HFCs e das alternativas para HFCs e PFCs, a ser realizado em 2003-2004, foi decidido pelas Partes da UNFCCC em Convenção em Déli (COP-8), em 2002, e pelas Partes do Protocolo de Montreal em 2002 (MOP-14, Roma, Decisão Espelho XIV/10). Foi necessário um esforço conjunto do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e do TEAP para preparar um Relatório Especial sobre "Proteção do sistema climático e proteção da camada de ozônio: questões relacionadas a

hidrofluorcarbonos e perfluorcarbonos". Um Comitê Diretor, composto por seis membros (três codiretores do Grupo de Trabalho do IPCC e os três codiretores do TEAP) dirigiu o estudo do Relatório Especial. O relatório (bem como um Resumo Técnico e um Sumário para Tomadores de Decisão) foi adotado pelos governos em uma Reunião em Adis Abeba, em abril de 2005, e foi publicado em meados de 2005. Esse Relatório serviu de base para muitas discussões que ocorreram nas diversas Reuniões das Partes do Protocolo de Montreal e do Protocolo de Kyoto. Um Relatório Suplementar do Relatório Especial foi publicado em 2006 e continha uma grande quantidade de informações sobre o tamanho dos bancos e sobre as emissões em diferentes setores, dentre os quais o setor de refrigeração e ar condicionado é na verdade o que mais contribui.

Na MOP-19, em Montreal, uma Decisão importante, a Decisão XIX/6 (conforme descrita na seção 1.1), foi tomada sobre a eliminação acelerada dos HCFCs nos países do Artigo 5. Na decisão, um cronograma de redução da produção e do consumo foi definido para o período de 2013-2030, com o congelamento em 2013 e fim da manutenção até 2040.

Como primeira consequência da Decisão XIX/6, as Partes solicitaram ao TEAP e a seu RTOC na Decisão XIX/8 que informassem sobre o status de substitutos e alternativas aos HCFCs sob altas condições ambientais. O relatório foi elaborado por um subcomitê do RTOC e submetido às Partes de forma preliminar em 2009 e em sua forma final em 2010.

Em 2008, as Partes solicitaram ao TEAP e a seus comitês, na Decisão XX/8 (ver acima), que avaliassem o status de alternativas nos diferentes setores e subsetores, conforme abordadas pelos seis Comitês de Opções Técnicas. Em um relatório elaborado por uma Força-Tarefa, uma grande quantidade do material foi resumida. Esse relatório contém informações atualizadas sobre os bancos e as emissões de todos os setores, incluindo refrigeração, ar condicionado e bombas de calor, bem como espumas. Em 2009, na Decisão XXI/9 (ver acima) sobre HCFCs e alternativas ambientalmente seguras, as Partes solicitaram ao TEAP que atualizasse as informações do relatório XX/8, informasse sobre o status de alternativas com baixo PAG para a substituição de HCFCs e apresentasse um relatório sobre a comparação dos desempenhos das alternativas com PAGs altos e baixos. O TEAP estabeleceu novamente uma Força-Tarefa com um grande número de membros do RTOC, o qual produziu um relatório tratando da definição dos termos "baixo PAG" e "alto PAG" e particularmente sobre o status, em 2009/2010, de substitutos e alternativas (com baixo PAG) aos HCFCs em todos os setores e subsetores. As informações coletadas para esse relatório XXI/9 também foram usadas na preparação dos Relatórios de Avaliação de 2010 dos TOCs, inclusive do RTOC.

O estudo de Avaliação Tecnológica e Econômica de 2010 foi realizado pelo Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica e por seus seis Comitês de Opções Técnicas. Os seis Comitês eram compostos por mais de 140 especialistas de um grande número de países (para ver a lista, consulte o anexo ao Relatório do Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica de 2010).

Os Comitês de Opções Técnicas de 2010 eram compostos por vários membros dos Comitês de 1998, 2002 e 2006 e de novos especialistas para fornecer a mais ampla participação possível na revisão internacional. Muita atenção foi novamente dada à participação adequada de especialistas técnicos de países do Artigo 5 e da CEIT, dependentes de restrições orçamentais. Os relatórios dos Comitês de Opções Técnicas foram submetidos a uma revisão por pares antes do lançamento final. A versão final dos relatórios é distribuída internacionalmente pelo PNUMA e também está disponível na Internet (<http://www.unep.org/ozone>).

1.3 Comitê de Opções Técnicas para Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor

Este Relatório de Avaliação do Comitê de Opções Técnicas para Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor (doravante denominado “Relatório de Avaliação do RTOC”) também faz parte da revisão do PNUMA, nos termos do Artigo 6 do Protocolo de Montreal.

Faz parte do trabalho de avaliação de 2010 do Painel de Avaliação Tecnológica e Econômica (solicitado pelas Partes em Montreal (XIX/20)). As informações coletadas (especialmente na forma dos Resumos Executivos) também fará parte do Relatório de Avaliação Tecnológica e Econômica de 2010, bem como do Relatório de Síntese geral de 2010 composto pelos três codiretores do Painel de Avaliação, no início de 2011.

O Relatório de Avaliação de 2010 do RTOC foi elaborado na forma de diversos capítulos. Há capítulos sobre refrigerantes e suas propriedades, sobre as diferentes áreas de aplicação de R/AC de aplicação e um capítulo sobre a conservação de refrigerantes. A estrutura escolhida para o relatório de 2010 é semelhante à estrutura do Relatório de Avaliação de 2006 do RTOC.

Tabela 1-1: “Países-membros” do Comitê de Opções Técnicas para Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor do PNUMA

Áustria	França	Holanda
Bélgica	Geórgia	Noruega
Brasil	Alemanha	Suécia
China	Índia	Reino Unido
República Tcheca	Jamaica	Estados Unidos
Dinamarca	Japão	

Cada um dos capítulos foi desenvolvido por 2-6 especialistas no setor específico, e cada capítulo foi coordenado por um Autor Principal do Capítulo – que fez a maior parte da elaboração e coordenação. O RTOC 2010 incluiu 29 representantes de empresas, universidades e governos da Ásia, da Europa, da América Latina e da América do Norte, além de especialistas independentes (ver Tabela 1-1). Esses representantes foram membros integrais (relatores); como pessoas de recurso, o RTOC também teve um pequeno número de membros revisores (em verdade, apenas em alguns capítulos, como os capítulos 2 e 9).

As afiliações dos membros estão listadas na Tabela 1-2 (29 organizações (incluindo consultorias) estiveram envolvidos na elaboração do relatório). Os nomes e detalhes de contato de todos os membros são fornecidos na forma de um apêndice a este Relatório de Avaliação do RTOC.

Vários rascunhos do relatório foram feitos, revisados por capítulos separados e discutidos em cinco reuniões do RTOC (linhas gerais em setembro de 2008, versão preliminar em março de 2009, rascunho em setembro de 2009, versão da revisão de pares em agosto de 2010 e relatório final em dezembro de 2010). Uma reunião preliminar do comitê foi realizada em Copenhague (na sequência de uma reunião do IIR), em setembro de 2008. Reuniões de redação e revisão foram realizadas no Canadá (Montreal), em março de 2009, no Brasil (São Paulo), em setembro de 2009, na República Tcheca (Praga), em agosto de 2010, e na China (Hangzhou), em dezembro de 2010.

O relatório teve revisão de pares de diversas instituições e associações, cada um delas revisando diferentes seções de capítulos em um esforço coordenado e seguindo um calendário apertado, entre o final de outubro e o final de novembro de 2010 (ver Tabela 1-3 para saber quais foram as organizações envolvidas na revisão por pares).

Comentários de revisão de pares foram coletados e classificados e, posteriormente, enviados a todos os autores responsáveis por capítulos (CLAs). Eles estudaram todos os comentários da revisão por pares e fizeram sugestões de como lidar com os comentários antes da Reunião do RTOC em dezembro de 2010.

Tabela 1-2: Afiliações dos membros do Comitê de Opções Técnicas em Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor do PNUMA

Universidade de Braunschweig	Alemanha
Calm, James M., Consultor de Engenharia	EUA
Carrier Corporation	EUA
Daikin Europe	Bélgica
Instituto Tecnológico Dinamarquês	Dinamarca
Devotta, Sukumar, Consultor Independente	Índia
Paris Mines Tech, Ecole des Mines	França
FK Consultancy	EUA
General Electric, Consumer Industrial, Aposentado	EUA
heat AG / UHTC	Áustria/Alemanha
Hill (Consultor)	EUA
Centro de Bombas de Calor IEA	Suécia
Instituto Indiano de Tecnologia Déli	Índia
Ingersoll Rand	República Tcheca
Johnson Controls	Dinamarca
Johnson Controls	EUA
Universidade de Ciências Aplicadas Karlsruhe	Alemanha
Instituto Mauá de Tecnologia	Brasil
Associação Nacional de Refrigeração Associação, representante	Geórgia
Nelson, pessoa privada	Jamaica
Panasonic Corporation	Japão
Re/genT b.v.	Holanda
Re-phridge Consultancy	Reino Unido
SINTEF Energy Research, Trondheim	Noruega
Star Refrigeration	Reino Unido
Universidade Técnica de Eindhoven	Holanda
The Trane Company	EUA
Agência de Proteção Ambiental dos EUA	EUA
HAPI Consultoria, Joinville	Brasil
Universidade Zhejiang, Hangzhou	China

O RTOC trabalhou em grupos de capítulos para abordar todos os comentários da revisão por pares durante a reunião do RTOC em Hangzhou, China, em dezembro de 2010. Os CLAs tomaram conhecimento de como os grupos decidiram lidar com os comentários e se deveriam ou não modificar ou alterar o texto. Todas as sugestões foram arquivadas por capítulo. Os CLAs, em seguida, apresentaram os capítulos finais para os codiretores.

O relatório final foi elaborado, incluindo as Principais Mensagens e um Abstract do Resumo Executivo no início, bem como Resumos Executivos de todos os capítulos (exceto o capítulo 11). O Secretariado do Ozônio do PNUMA auxiliou na formatação final nas inserções de estilo de título. O relatório foi, então, mais uma vez distribuído a todos os membros RTOC para uma verificação final.

O RTOC agradece muito pela participação voluntária dos revisores e das instituições na revisão por pares.

Tabela 1-3: Instituições e organizações envolvidas na revisão por pares do relatório de 2010 do RTOC

<i>ACEA</i>	Associação Europeia dos Fabricantes de Automóveis
<i>AHRI</i>	Instituto Americano de Aquecimento e Refrigeração
<i>AIRAH</i>	Instituto Australiano de Refrigeração, Ar Condicionado e Aquecimento
<i>ARAP</i>	Aliança para Políticas Atmosféricas Responsáveis
<i>CRAA</i>	Associação Chinesa de Refrigeração e Ar Condicionado
<i>CRT</i>	CRT Cambridge
<i>DKV</i>	Associação Alemã de Refrigeração
<i>EIA</i>	Agência de Investigação Ambiental
<i>EHPA</i>	Associação Europeia de Bombas de Calor
<i>EPEE</i>	Parceria Europeia para Energia e Meio Ambiente
<i>Greenpeace</i>	Greenpeace International
<i>IAR</i>	Instituto Internacional de Refrigeração com Amônia
<i>IIR</i>	Instituto Internacional de Refrigeração
<i>IOR</i>	Instituto de Refrigeração do Reino Unido
<i>JAMA</i>	Associação Japonesa dos Fabricantes de Automóveis
<i>JRAIA</i>	Associação Japonesa da Indústria de Refrigeração e Ar Condicionado
<i>SAE</i>	Sociedade dos Engenheiros Automotivos
<i>SAIRAC</i>	Instituto Sul-Africano para Refrigeração e Ar Condicionado
<i>Shecco</i>	Shecco Bruxelas
<i>Transfrigoroute</i>	Transfrigoroute International
<i>Transicold</i>	Carrier Transicold

1.4 Refrigeração, Ar Condicionado e Bombas de Calor

1.4.1 Observações Gerais

Aplicações de refrigeração, ar condicionado e bombas de calor representam mais de 70% das SDOs e substâncias de substituição utilizadas. Este é também um dos mais importantes setores em uso de energia na sociedade atual. É difícil fornecer estimativas, mas, como média para os países desenvolvidos, acredita-se que sua cota de consumo de eletricidade esteja entre 10 e 30%.

O impacto econômico da tecnologia de refrigeração é muito mais significativo do que geralmente se crê; 300 milhões de toneladas de mercadorias são continuamente refrigeradas. Embora o consumo anual de eletricidade possa ser enorme e o investimento em máquinas e equipamentos possa se aproximar de US\$ 100 bilhões, o valor dos produtos tratados por refrigeração será de quatro vezes essa quantia. Essa é uma das razões porque os impactos econômicos da eliminação das substâncias químicas refrigerantes (como CFCs, no passado, e HCFCs em países do Artigo 5 no futuro previsível) foram e ainda são difíceis de estimar.

Aplicações de refrigeração e ar condicionado variam enormemente em tamanho e nível de temperatura. Um refrigerador doméstico tem potência elétrica entre 50 e 250 W e contém menos de 30-150 g de refrigerante (dependendo do tipo de refrigerante), enquanto que a refrigeração industrial e de armazenagem a frio é caracterizada por temperaturas entre -10°C e -40°C, com potências elétricas que podem chegar a vários mW e conteúdo de refrigerante de muitas centenas de quilos. Ar condicionado e bombas de calor podem apresentar temperaturas de evaporação entre 0 °C e 10 °C, significativamente diferentes de aplicações de refrigeração, e variam muito em tamanho e potência.

Em princípio pode-se, portanto, diferenciar quatro áreas principais, cada uma com seus subsectores: (i) a cadeia alimentar em todos os seus aspectos, desde o armazenamento frigorificado e via transporte refrigerado até a refrigeração doméstica, (ii) ar condicionado e refrigeração de processos, (iii) ar condicionado de conforto, de equipamentos resfriados a ar até chillers, incluindo bombas de calor e (iv) ar condicionado móvel, com muitos diferentes aspectos específicos.

Esta é uma das razões porque todos os equipamentos são considerados neste relatório em um grande número de capítulos separados ou seções.

Opções e aspectos do ciclo de compressão de vapor da refrigeração merecem mais atenção, uma vez que é improvável que, durante os próximos 10-20 anos outros princípios assumam uma parte substancial do mercado. Em todos os setores de aplicação descritos nos capítulos separados deste relatório, a maior parte da atenção está centrada no ciclo de compressão de vapor. Como afirmado, esse ciclo ofereceu, até agora, uma forma simples, econômica, eficiente e confiável para a refrigeração (isso inclui ciclos com amônia, gás carbônico, fluoroquímicos e hidrocarbonetos como refrigerantes).

O processo de seleção de um refrigerante para o ciclo de compressão de vapor é bastante complexo (sem considerar os aspectos econômicos e custos), uma vez que um grande número de parâmetros têm de ser investigados quanto a sua adequação para determinados designs, incluindo:

- propriedades termodinâmicas e de transporte;
- intervalos de temperatura;
- taxas de pressão;
- requisitos do compressor;
- compatibilidade entre o material e o óleo;
- aspectos de saúde, segurança e inflamabilidade;
- parâmetros ambientais como PDO, PAG e tempo de vida atmosférica.

Esses critérios de seleção foram elaborados em vários capítulos de vários Relatórios de Avaliação do RTOC do PNUMA e os critérios de seleção não mudaram nos últimos anos. Desde então, a ênfase nas emissões de gases de efeito estufa aumentou; isso pode ser diretamente traduzido em eficiência termodinâmica e qualidade do equipamento (vazamento de refrigerante).

O futuro da humanidade, e seu suprimento de alimentos em particular, dependem da disponibilidade de energia suficiente e da disponibilidade de métodos de refrigeração eficientes. É claro que esse aspecto deve ser mais do que contrabalançado por uma preocupação com a conservação da biosfera, incluindo, especialmente, o efeito do aquecimento global. A eficiência energética, portanto, é um dos aspectos mais importantes.

1.4.2 Opções de Longo Prazo e Eficiência Energética

A produção de CFC foi descontinuada há quinze anos nos países desenvolvidos, e a eliminação de CFC nos países em desenvolvimento foi concluída em 2010. Enquanto os HCFCs foram em grande parte eliminados nos países desenvolvidos, a eliminação nos países do Artigo 5 demanda agora total atenção. Nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, os HFCs até agora são substitutos importantes para CFCs e HCFCs. Em muitas aplicações, alternativas aos HCFCs tornaram-se disponíveis comercialmente, na forma de HFCs puros, de misturas de HFCs ou de alternativas não HFC. Portanto, os HFCs ganharam uma grande fatia do mercado de reposição. Em particular, os incentivos necessários continuam a ser fornecidos aos países do Artigo 5 para que façam a transição de HCFCs para refrigerantes não HCFC, incluindo alternativas HFCs e não fluorcarbonos.

Deve-se notar, no entanto, que as mudanças nas opções de refrigerante são apenas uma parte do estímulo para inovações em equipamentos de refrigeração e A/C. A inovação é um processo contínuo independente, que tem de levar em conta todas as questões ambientais envolvidas.

A longo prazo, o papel de tecnologias não de compressão de vapor, tais como absorção, adsorção, Stirling e ciclos a ar, etc., pode tornar-se mais importante. No entanto, acredita-se que o ciclo de compressão de vapor ainda será o candidato mais importante.

Para o longo prazo, continuam a existir, de fato, apenas cinco diferentes opções de refrigerante importantes para o ciclo de compressão de vapor em todos os setores de refrigeração e A/ C, listadas por ordem alfabética:

- ◆ amônia (R-717);
- ◆ dióxido de carbono (R-744);
- ◆ hidrocarbonetos e misturas (HCs, como HC-290, HC-600a, HC-1270, etc.);
- ◆ hidrofluorcarbonetos (HFCs, HFCs insaturados (HFOs));
- ◆ água (R-718);

Nenhum dos refrigerantes mencionados acima é perfeito; todos têm vantagens e desvantagens que devem ser consideradas pelos governos, fabricantes de equipamentos e usuários de equipamentos. Por exemplo, a amônia, o dióxido de carbono e os hidrocarbonetos têm potenciais de aquecimento global (PAG) baixos ou desprezíveis, a maioria dos HFCs têm PAG relativamente elevado (isto não é válido para os HFCs insaturados (HFOs), que têm PAG baixo), a amônia é mais tóxica do que as outras opções e a amônia e os hidrocarbonetos são em certa medida inflamáveis. Design, manutenção e uso adequado dos equipamentos pode sanar essas preocupações, embora às vezes com custo de investimento de capital maior ou eficiência energética menor.

As cinco opções de refrigerante acima estão em diferentes estágios de desenvolvimento ou comercialização. HFCs com PAG elevado são amplamente aplicados em muitos setores, a amônia e os hidrocarbonetos desfrutaram de crescimento em setores em que podem ser facilmente acomodados e, para algumas aplicações, equipamentos com CO₂ estão em desenvolvimento e um grande número de instalações com CO₂ têm sido extensivamente testadas no mercado. Atualmente, o CO₂ ganha uma parte substancial do mercado de equipamentos de refrigeração para supermercados em determinadas regiões. A água é usada e seu uso pode ter algum aumento em aplicações limitadas. Diversos comitês trabalham no desenvolvimento de normas que permitam a aplicação de novos refrigerantes, e as empresas pretendem atingir limites aceitos em todo o mundo nessas diferentes normas.

Da mesma forma, a pesquisa sobre eficiência energética é parcialmente estimulada pelo papel da produção de energia nas emissões de dióxido de carbono. As opções para a operação de equipamentos com eficiência energética constituem uma questão importante em cada um dos capítulos deste Relatório de Avaliação de 2010 do RTOC.

A Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima, através de seu Protocolo de Kyoto, aprovado em 1997, considera seis importantes gases de aquecimento global em um conjunto (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs e os gases industriais PFCs e SF₆), utilizando seus respectivos Potenciais de Aquecimento Global (PAG). O processo de controle é baseado no controle das emissões equivalentes de aquecimento global através de reduções. É claro que, no âmbito do Protocolo de Kyoto, os governos nacionais estão livres para priorizar a redução das emissões. Em princípio, isso poderia também ser feito por meio da eliminação de produtos químicos HFC em determinado estágio. Por outro lado, poderia também envolver um nível crescimento em determinados setores de alguns países (por exemplo, os HFCs) que teria de ser equilibrado por reduções acima da média em outras emissões de gases de efeito estufa. Embora o CFC e o HCFC não estejam no conjunto do Protocolo de Kyoto, estes também são gases de impacto de aquecimento significativo. Os HFCs têm valores de PAG semelhantes aos dos HCFCs, mas os PAGs dos CFCs são muito maiores. Até o momento, o Protocolo de Montreal tem sido bastante eficaz na redução dos impactos do aquecimento global durante o período de eliminação dos CFCs.

No Relatório Especial (IPCC TEAP, 2005) e em seu Relatório Suplementar, como mencionado anteriormente, dois cenários foram desenvolvidos para as projeções da demanda, os bancos e emissões de CFCs, HCFCs, HFCs e alguns PFCs (quando estes são usados como substitutos para substâncias que destroem a camada de ozônio). Anualmente, a demanda é definida como a quantidade de químico necessário para o uso em determinado ano, os bancos são iguais aos inventários diferentes de produtos e as emissões são definidas como a quantidade de produto químico que é emitido durante a fabricação, mais a quantidade emitida durante o tempo de vida do produto (vazamento de bancos), mais a quantidade de produto químico emitida no descarte. As atividades subjacentes às emissões de fluorcarbonetos devem crescer de forma significativa. Essas atividades (como os requisitos para refrigeração, ar condicionado e isolamento) envolverão várias tecnologias. Nos países não incluídos no Artigo 5, o uso e as emissões de CFCs e HCFCs irá diminuir e cessar conforme todos os equipamentos obsoletos sejam aposentados. Nos

países do Artigo 5, substâncias que destroem a camada de ozônio (particularmente HCFCs) podem ser usadas por mais uma ou duas décadas; a virtual eliminação foi estabelecida para 2030 (Decisão XIX/6).

Os perfis de emissões atuais são em grande parte determinados por padrões históricos de uso, resultando em uma contribuição ainda relativamente alta (no momento) de CFCs e HCFCs em bancos de equipamentos e espumas. O maior banco de SDOs (CFCs) está em produtos de espuma, localizados em países não incluídos no Artigo 5. Este ainda será o caso para as próximas décadas (ver também o relatório do TEAP sobre a destruição e fluxos de resíduos de diferentes setores, pela Força-Tarefa da Decisão XX/7). Os bancos de halons também são importantes e estão mais ou menos igualmente divididos entre países incluídos e não incluídos no Artigo 5. O tamanho desse banco deve diminuir. Deve-se notar que os esforços de recuperação e os custos associados podem variar largamente, na medida em que algumas grandes quantidades de SDOs em bancos são virtualmente irrecuperáveis, embora ainda existentes. No entanto, a opção pela destruição permanece em aberto. Por exemplo, os refrigerantes são geralmente considerados facilmente recuperáveis, mas a recuperação dos agentes de expansão de espumas pode ser mais complicada (ver novamente o relatório da Força-Tarefa da Decisão XX/7).

De maneira geral, as emissões, ou seja, o ciclo do banco, varia significativamente de aplicação para aplicação: de meses (por exemplo, solventes) a vários anos (aplicações de refrigeração) ou mesmo mais de meio século (espuma de isolamento). Os bancos armazenados em equipamentos e as espumas podem vaziar durante a fase de utilização dos produtos de que fazem parte e no final do ciclo de vida do produto (no caso de eles não serem recuperados ou destruídos).

1.4.3 Configuração do Relatório de Avaliação de 2010 do TOC de Refrigeração, A/C e Bombas de Calor

O relatório tem Mensagens Principais e um Abstract do Resumo Executivo (por exemplo, para os políticos tomadores de decisão), os quais foram extraídos dos Resumos Executivos de todos os capítulos, que são apresentados no início do relatório. Enquanto os Resumos Executivos foram aprovados pelos capítulos separados, as Principais Mensagens e o Abstract do Resumo Executivo foram enviados várias vezes para todos os CLAs e, finalmente, para os membros do Comitê até que o acordo total fosse atingido.

Este Capítulo 1 apresenta uma introdução geral e descreve o processo pelo qual o relatório do RTOC foi elaborado pelos membros. O capítulo 2 apresenta refrigerantes e todos os seus aspectos. Elabora sobre Potenciais de Destruição do Ozônio e sobre dados de PDO e PAG para fins de relatório. Investiga também o status e as necessidades de pesquisa de dados, ou seja, dados termofísicos de transferência de calor, compatibilidade e segurança.

Os Capítulos 3, 4, 5 e 6 tratam da cadeia alimentar e investigam a viabilidade técnica de opções. Todos eles consideram opções não PDO e tratam de aspectos como o uso de não fluoroquímicos, a redução de cargas, a melhoria da eficiência energética, etc. O aspecto de eficiência energética em particular desempenha um papel importante no capítulo 3 sobre refrigeração doméstica. O Capítulo 4 discute as opções para os 3 tipos de equipamento de refrigeração comercial. O Capítulo 5 trata de refrigeração industrial e armazenagem frigorificada e o Capítulo 6 de transporte refrigerado. Os Capítulos 7 e 8 tratam de ar condicionado e bombas de calor ar-ar para aquecimento de água. O Capítulo 9 trata dos diversos aspectos de chillers, que incluem importantes considerações sobre eficiência energética. O Capítulo 10 descreve as opções para ar condicionado móvel. Avalia o potencial das opções de HFCs insaturados (HFOs), do dióxido de carbono, dos hidrocarbonetos e de outras opções. O Capítulo 11 trata da conservação de refrigerantes no sentido mais amplo; por meio de práticas adequadas, pode-se reduzir a emissão de refrigerantes (destruição do ozônio e aquecimento global) para a atmosfera (recuperação e reciclagem, contenção).

Os nomes e detalhes de contatos de todos os membros do RTOC (CLAs e coautores), bem como os nomes de todos os Colaboradores de fora do RTOC são fornecidos no Anexo 1.

Na última reunião do RTOC em dezembro de 2010, os membros do RTOC também decidiram anexar ao relatório um Excerto de um relatório de 2009 sobre demanda, bancos e emissões elaborado pela ADEME/ARMINES (Denis Clodic, CLA responsável pelo Capítulo 4). Esse relatório foi anexado como Anexo 2 apenas para fins informativos, a fim de expandir as informações sobre bancos e emissões disponíveis nos capítulos separados. O relatório no Anexo 2 não tem ligação direta com os capítulos separados e não foi revisto pelo RTOC como comitê. É, portanto, precedido por uma exoneração de responsabilidade que explica isso.

Capítulo 2:

Refrigerantes

Autor Principal do Capítulo

James M. Calm

Coautor (não RTOC)

Glenn C. Hourahan

Colaboradores

Dennis R. Dorman

Mark O. McLinden

2 Refrigerantes

Mais de 60 novos refrigerantes foram comercializados para uso tanto em novos equipamentos quanto como fluidos de manutenção (para manter ou converter equipamentos existentes) desde o relatório de avaliação de 2006. Destes, 21 obtiveram designações e classificações de segurança padronizadas enquanto o restante é comercializado apenas com identificadores de propriedade (sem divulgação pública de composições ou sem pedido de designações padronizadas). A maioria dos novos refrigerantes são misturas que contêm hidrofluorcarbonetos (HFCs) ou, em alguns casos, misturas de HFCs e hidrocarbonetos (HCs). Outros refrigerantes, incluindo componentes de mistura, ainda estão em desenvolvimento para permitir a conclusão das eliminações programadas de substâncias que destroem a camada de ozônio (SDOs). É dado foco significativo a alternativas, incluindo componentes de mistura, que oferecem menor potencial de aquecimento global (PAG) para tratar das mudanças climáticas. Essa busca exige maior atenção que no passado aos candidatos inflamáveis, principalmente os de baixa inflamabilidade. Esforços consideráveis continuam para o exame de uma utilização mais ampla da amônia (NH₃, R-717), dióxido de carbono (CO₂, R-744) e HCs, bem como de misturas de ambos ou deles com HFCs de baixo PAG. Novas pesquisas buscam complementar e melhorar os dados físicos, ambientais e de segurança sobre refrigerantes, a fim de permitir a triagem e para otimizar o desempenho de equipamentos.

Apesar do número de novas introduções, aproximadamente 20 antigos e novos refrigerantes, alguns deles misturas, constituem a maior parte do uso em uma base global. Mesmo esse número deve diminuir para aproximadamente 10 ou 12, conforme equipamentos mais antigos que usam SDOs opções com alto PAG sejam retirados de uso, juntamente com a necessidade de fluidos de manutenção para eles e conforme os fabricantes migrem para os refrigerantes preferenciais no futuro.

2.1 Introdução

Este capítulo discute e fornece resumos tabulares para identificadores, bem como dados físicos, ambientais e de segurança sobre refrigerantes. Aborda o status de dados sobre propriedades termofísicas (termodinâmicas e de transporte) e da análise em curso sobre transferência de calor e compatibilidade. Este capítulo não trata de adequação, vantagens e desvantagens de refrigerantes individuais ou de grupos de refrigerantes para aplicações específicas; tal discussão é apresentada para aplicações específicas, quando relevante, nos capítulos seguintes.

2.1.1 Evolução dos refrigerantes

A evolução histórica dos refrigerantes abrange quatro gerações, com base na definição de critérios de seleção /Cal08/:

- ♦ década de 1830 a década de 1930 – o que quer que funcionasse: principalmente solventes familiares e outros líquidos voláteis, incluindo éteres, R-717, R-744, dióxido de enxofre (SO₂, R-764), metanoato de metila (HCOOCH₃, R-611), HCs, água (H₂O, R-718), tetracloreto de carbono (CCl₄, R-10), hidroclorocarbonos (HCCs) e outros; muitos deles são agora considerados "refrigerantes naturais".
- ♦ 1931 a década de 1990 – segurança e durabilidade: principalmente clorofluorcarbonos (CFCs), hidroclorofluorcarbonos (HCFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), amônia e água.
- ♦ 1990 a década de 2010 – proteção do ozônio estratosférico: principalmente HCFCs (para uso de transição), HFCs, amônia, água, hidrocarbonetos e dióxido de carbono.
- ♦ 2010-? – mitigação do aquecimento global: ainda em determinação, mas provavelmente incluirá refrigerantes com potencial de destruição do ozônio (PDO) muito baixo ou zero, baixo potencial de aquecimento global (PAG) e alta eficiência; deverá incluir, pelo menos inicialmente, hidrofluorcarbonos insaturados (hidrofluorolefinas, HFOs discutidos abaixo), amônia, dióxido de carbono, hidrocarbonetos e água.

A demarcação de aceitabilidade do PAG é definida, pelo menos inicialmente, como tendo um PAG relativo a CO₂ para integração em 100 anos de 150 ou menos, com base em regulamentos europeus para ar condicionado móvel (ver capítulo 10). Outro esquema de classificação proposto distingue entre *muito baixo* (ou *ultrabaixo*), com PAG <~ 30, *muito baixo*, com PAG <~ 100, *baixo*, com PAG <~ 300, *moderado*, com PAG <~ 1000, *alto*, com PAG <~ 3.000, *muito alto*, com PAG <~ 10.000, e *ultra-alto*, com PAG > ~10.000/UNEP10/.

2.1.2 Hidrofluoroquímicos insaturados

Sujeitos a pressões de regulamentos para eliminar refrigerantes com PAGs elevados e pelo menos para sistemas de automóvel com PAG superior a 150, os principais fabricantes de refrigerante têm agressivamente buscado fluoroquímicos insaturados. Estes são produtos químicos constituídos por dois ou mais átomos de carbono com pelo menos uma ligação dupla entre dois ou mais deles, bem como hidrogênio, flúor e, possivelmente, cloro e outros halogênios. Fluorcarbonetos insaturados também são identificados como fluoroalcenos ou fluorolefinas. A(s) ligação(ões) dupla(s) carbono-carbono torna(m) os compostos mais reativos. Isso leva à rápida decomposição na baixa atmosfera, uma vez que esses fluoroalcenos são menos estáveis na presença dos reagentes oxidantes que lá se encontram. Alguns também estão sujeitos a decomposição fotolítica. O resultado é curto tempo de vida na atmosfera e, assim, PDOs e PAGs muito baixos.

A família dos HFCs insaturados (também identificados como hidrofluoroalcenos ou hidrofluorolefinas, HFO) é um exemplo focal com graus variáveis de fluoração, em parte como um impasse entre inflamabilidade com baixo conteúdo de flúor e aumento do PAG e custo com maior conteúdo de flúor. Os produtores de produtos químicos estão buscando alternativas para os refrigerantes mais amplamente utilizados de baixa, média e alta pressão. Entre os HFCs insaturados, vários isômeros HFC-1225 anteriormente visados parecem abandonados em função de seus resultados de toxicidade. O HFC-1234yf ($\text{CH}_2 = \text{CFCF}_3$) está sendo amplamente considerado tanto como refrigerante de único composto quanto como componente de mistura. Comunicações de fabricantes também indicam procura por HFC-1234ze (E) ($\text{CHF}=\text{CHCF}_3$), HFC-1243zf ($\text{CH}_2=\text{CHCF}_3$), e outros isômeros e enantiômeros de HFC-1234 e HFC-1243. Alguns fabricantes também estão buscando HCFCs insaturados (também identificados como hidroclorofluoroalcenos ou hidroclorofluorolefinas, HCFOs), principalmente isômeros de HCFC-1233, para obter benefícios semelhantes com inflamabilidade reduzida ou evitada, mas introduzem uma preocupação com PDO, embora extremamente baixo. Embora dados completos ainda não estejam disponíveis, ou disponíveis ao público devido à natureza proprietária do desenvolvimento, as poucas informações de domínio público sugerem que alguns hidrofluoroquímicos insaturados serão técnica e comercialmente viáveis.

Os opositores de fluoroquímicos insaturados argumentam, muitas vezes com veemência, que estes representam riscos ambientais ou de segurança adicionais não justificados pela existência de "refrigerantes naturais" alternativos disponíveis. O grau de aceitabilidade de longo prazo de HFCs insaturados (HFOs) ou mais amplamente de hidrohloquímicos insaturados é incerto, embora vários estudos iniciais indiquem impactos ambientais administráveis /Leu10 e Kaj10 e Pap09/.

A busca comercial relativamente recente de compostos fluoroquímicos insaturados, bem como de misturas dos mesmos ou contendo-os, catalisou diversos depoimentos favoráveis, mas também réplicas. Maiores informações provavelmente surgirão no próximo ciclo de avaliação. Por enquanto, os capítulos sobre várias aplicações a seguir consideram fluoroquímicos insaturados específicos, conforme apropriado. Maiores informações provavelmente surgirão no próximo ciclo de avaliação.

2.2 Resumo dos dados

A Tabela 2-1 fornece um resumo dos dados de refrigerantes, tanto de um único composto quanto misturas, abordados neste relatório, bem como aqueles utilizados historicamente, considerados como candidatos para uso futuro e que experimentam interesse renovado (candidatos históricos e, agora, para uma aplicação mais ampla). A tabela exclui misturas patenteadas cuja composição (componentes) e/ou formulação (suas proporções) não tenham sido divulgadas.

A tabela foi atualizada em relação a avaliações anteriores para refletir os dados atuais de avaliações de consenso e da literatura científica e de engenharia publicada, sempre que possível. A tabela de resumo também adiciona dois novos refrigerantes de um único composto e 21 novas misturas introduzidas desde o relatório de avaliação de 2006 /UNEP06/.

Os dados desta tabela foram extraídos de resumos mais extensos de Calm e Hourahan /Cal07, Cal11/, do Banco de Dados de Refrigerantes /Cal10/ e apêndices informativos à Norma ASHRAE 34-2010 /ASH10a/ e dos respectivos adendos /ASH10b/. Essas referências fornecem mais informações sobre os refrigerantes incluídos e tratam também de outros refrigerantes. Alguns dados foram atualizados com novas revisões (edições posteriores) das fontes citadas, incluindo REFPROP 9.0 /Lem10/ para

propriedades termofísicas, embora em alguns casos com modelos atualizados de fluido e mistura para a inclusão planejada em futuras revisões. O banco de dados também identifica as fontes dos dados apresentados na tabela, bem como, para alguns refrigerantes, dados adicionais quando valores conflitantes foram relatados por diferentes investigadores. Os dados e suas limitações devem ser verificados nos documentos originais referenciados, particularmente quando o uso dos dados acarreta o risco de perda de vida ou propriedade. O REFPROP pode ser usado para calcular propriedades adicionais para muitos dos refrigerantes e misturas adicionais.

Tabela 2-1: Dados físicos, ambientais e de segurança para refrigerantes históricos, atuais e candidatos

refrigerant number	chemical formula - common name	physical data			safety data			environmental data			status
		molecular mass	NBP (°C)	Tc (°C)	OEL (PPM)	LFL (%)	Std 34 safety group	atmospheric life (yr)	ODP	GWP 100 yr	
CFC-11	CCl3F	137.37	23.7	198.0	C1000	none	A1	45	1.000	4750	M
CFC-12	CCl2F2	120.91	-29.8	112.0	1000	none	A1	100	0.820	10900	M
BCFC-12B1	CBrClF2 - halon 1211	165.36	-4.0	154.0		none		16	7.900	1890	M
CFC-13	CClF3	104.46	-81.5	28.9	1000	none	A1	640	1.000	14400	M
BFC-13B1	CBrF3 - halon 1301	148.91	-58.7	67.1	1000	none	A1	65	15.900	7140	M
FC-14	CF4 - carbon tetrafluoride	88.00	-128.0	-45.6	1000	none	A1	50000	0.000	7390	K
HCFC-22	CHClF2	86.47	-40.8	96.1	1000	none	A1	11.9	0.040	1790	M
HFC-23	CHF3 - fluoroform	70.01	-82.0	26.1	1000	none	A1	222	0.000	14200	K
HFC-32	CH2F2 - methylene fluoride	52.02	-51.7	78.1	1000	14.4	A2L r	5.2	0.000	716	K
CFC-113	CCl2FCClF2	187.38	47.6	214.1	1000	none	A1	85	0.850	6130	M
CFC-114	CClF2CClF2	170.92	3.6	145.7	1000	none	A1	190	0.580	9180	M
CFC-115	CClF2CF3	154.47	-39.2	80.0	1000	none	A1	1020	0.570	7230	M
FC-116	CF3CF3 - perfluoroethane	138.01	-78.1	19.9	1000	none	A1	10000	0.000	12200	K
HCFC-123	CHCl2CF3	152.93	27.8	183.7	50	none	B1	1.3	0.010	77	M
HCFC-124	CHClFCF3	136.48	-12.0	122.3	1000	none	A1	5.9	0.020	619	M
HFC-125	CHF2CF3	120.02	-48.1	66.0	1000	none	A1	28.2	0.000	3420	K
HFC-134a	CH2FCF3	102.03	-26.1	101.1	1000	none	A1	13.4	0.000	1370	K
HCFC-142b	CH3CClF2	100.50	-9.1	137.1	1000	8.0	A2	17.2	0.060	2220	M
HFC-143a	CH3CF3	84.04	-47.2	72.7	1000	8.2	A2L r	47.1	0.000	4180	K
HFC-152a	CH3CHF2	66.05	-24.0	113.3	1000	4.8	A2	1.5	0.000	133	K
HFC-161	CH3CH2F - ethyl fluoride	48.06	-37.6	102.2		3.8		0.18	0.000	12	K
HC-170	CH3CH3 - ethane	30.07	-88.6	32.2	1000	3.1	A3	0.21	0.000	~20	
HE-E170	CH3OCH3 - DME	46.07	-24.8	127.2	1000	3.4	A3	0.015	0.000		
FC-218	CF3CF2CF3 - perfluoropropane	188.02	-36.8	71.9	1000	none	A1	2600	0.000	8830	K
HFC-227ea	CF3CHFCF3	170.03	-16.3	101.8	1000	none	A1	38.9	0.000	3580	K
HFC-236fa	CF3CH2CF3	152.04	-1.4	124.9	1000	none	A1	242	0.000	9820	K
HFC-245fa	CHF2CH2CF3	134.05	15.1	154.0	300	none	B1	7.7	0.000	1050	K
HC-290	CH3CH2CH3 - propane	44.10	-42.1	96.7	1000	2.1	A3	0.041	0.000	~20	
R-400(50/50)	R-12/114 (50.0/50.0)	141.63	-20.8	129.1	1000	none	A1		0.700	10000	M
R-400(60/40)	R-12/114 (60.0/40.0)	136.94	-23.2	125.6	1000	none	A1		0.724	10000	M
R-401A	R-22/152a/124 (53.0/13.0/34.0)	94.44	-32.9	107.3	1000	none	A1		0.028	1200	M
R-401B	R-22/152a/124 (61.0/11.0/28.0)	92.84	-34.5	105.6	1000	none	A1		0.030	1300	M
R-401C	R-22/152a/124 (33.0/15.0/52.0)	101.03	-28.3	111.7	1000	none	A1		0.024	930	M
R-402A	R-125/290/22 (60.0/2.0/38.0)	101.55	-48.9	75.8	1000	none	A1		0.015	2700	M
R-402B	R-125/290/22 (38.0/2.0/60.0)	94.71	-47.0	82.9	1000	none	A1		0.024	2400	M

Tabela 2-1: Dados físicos, ambientais e de segurança para refrigerantes históricos, atuais e candidatos (continuação)

refrigerant number	chemical formula - common name	physical data			safety data			environmental data			status
		molecular mass	NBP (°C)	Tc (°C)	OEL (PPM)	LFL (%)	Std 34 safety group	atmospheric life (yr)	ODP	GWP 100 yr	
R-403A	R-290/22/218 (5.0/75.0/20.0)	91.99	-47.7	87.0	1000	wff	A2	0.030	3100	M	
R-403B	R-290/22/218 (5.0/56.0/39.0)	103.26	-49.2	79.6	1000	none	A1	0.022	4400	M	
R-404A	R-125/143a/134a (44.0/52.0/4.0)	97.60	-46.2	72.0	1000	none	A1	0.000	3700	K	
R-405A	R-22/152a/142b/C318 (45.0/7.0/5.5/42.5)	111.91	-32.6	106.1	1000	none	d	0.021	5300	M	
R-406A	R-22/600a/142b (55.0/4.0/41.0)	89.86	-32.5	116.9	1000	8.2	A2	0.047	1900	M	
R-407A	R-32/125/134a (20.0/40.0/40.0)	90.11	-45.0	82.3	1000	none	A1	0.000	2100	K	
R-407B	R-32/125/134a (10.0/70.0/20.0)	102.94	-46.5	75.0	1000	none	A1	0.000	2700	K	
R-407C	R-32/125/134a (23.0/25.0/52.0)	86.20	-43.6	86.0	1000	none	A1	0.000	1700	K	
R-407D	R-32/125/134a (15.0/15.0/70.0)	90.96	-39.2	91.4	1000	none	A1	0.000	1800	K	
R-407E	R-32/125/134a (25.0/15.0/60.0)	83.78	-42.7	88.5	1000	none	A1	0.000	1500	K	
R-408A	R-125/143a/22 (7.0/46.0/47.0)	87.01	-44.6	83.1	1000	none	A1	0.019	3000	M	
R-409A	R-22/124/142b (60.0/25.0/15.0)	97.43	-34.4	109.3	1000	none	A1	0.038	1600	M	
R-409B	R-22/124/142b (65.0/25.0/10.0)	96.67	-35.6	106.9	1000	none	A1	0.037	1500	M	
R-410A	R-32/125 (50.0/50.0)	72.58	-51.4	71.4	1000	none	A1	0.000	2100	K	
R-410B	R-32/125 (45.0/55.0)	75.57	-51.3	70.8		none	A1	0.000	2200	K	
R-411A	R-1270/22/152a (1.5/87.5/11.0)	82.36	-39.5	99.1	990	5.5	A2	0.035	1600	M	
R-411B	R-1270/22/152a (3.0/94.0/3.0)	83.07	-41.6	95.9	980	7.0	A2	0.038	1700	M	
R-412A	R-22/218/142b (70.0/5.0/25.0)	92.17	-38.0	107.2	1000	8.7	A2	0.043	2200	M	
R-413A	R-218/134a/600a (9.0/88.0/3.0)	103.95	-33.4	96.6	1000	8.8	A2	0.000	2000	K	
R-414A	R-22/124/600a/142b (51.0/28.5/4.0/16.5)	96.93	-33.0	112.7	1000	none	A1	0.036	1500	K	
R-414B	R-22/124/600a/142b (50.0/39.0/1.5/9.5)	101.59	-32.9	111.0	1000	none	A1	0.034	1300	M	
R-415A	R-22/152a (82.0/18.0)	81.91	-37.2	102.0	1000	5.6	A2	0.033	1500	M	
R-415B	R-22/152a (25.0/75.0)	70.19	-26.9	111.4	1000	wff	A2	0.010	550	M	
R-416A	R-134a/124/600 (59.0/39.5/1.5)	111.92	-23.9	107.1	1000	none	A1	0.008	1100	M	
R-417A	R-125/134a/600 (46.6/50.0/3.4)	106.75	-39.1	87.1	1000	none	A1	0.000	2300	K	
R-417B	R-125/134a/600 (79.0/18.3/2.7)	113.12	-44.9	75.2	1000	none	A1	0.000	3000	K	
R-418A	R-290/22/152a (1.5/96.0/2.5)	84.60	-41.7	96.2	1000	8.9	A2	0.038	1700	M	
R-419A	R-125/134a/E170 (77.0/19.0/4.0)	109.34	-42.6	82.1	1000	wff	A2	0.000	2900	K	
R-420A	R-134a/142b (88.0/12.0)	101.84	-24.9	104.8	1000	none	A1	0.007	1500	M	
R-421A	R-125/134a (58.0/42.0)	111.75	-40.7	82.8	1000	none	A1	0.000	2600	K	
R-421B	R-125/134a (85.0/15.0)	116.93	-45.6	72.4	1000	none	A1	0.000	3100	K	
R-422A	R-125/134a/600a (85.1/11.5/3.4)	113.60	-46.5	71.7	1000	none	A1	0.000	3100	K	
R-422B	R-125/134a/600a (55.0/42.0/3.0)	108.52	-41.3	83.2	1000	none	A1	0.000	2500	K	
R-422C	R-125/134a/600a (82.0/15.0/3.0)	113.40	-45.9	73.1	1000	none	A1	0.000	3000	K	
R-422D	R-125/134a/600a (65.1/31.5/3.4)	109.93	-43.2	79.6	1000	none	A1	0.000	2700	K	

Tabela 2-1: Dados físicos, ambientais e de segurança para refrigerantes históricos, atuais e candidatos (continuação)

refrigerant number	chemical formula - common name	physical data			safety data			environmental data			status
		molecular mass	NBP (°C)	Tc (°C)	OEL (PPM)	LFL (%)	Std 34 safety group	atmospheric life (yr)	ODP	GWP 100 yr	
R-423A	R-134a/227ea (52.5/47.5)	125.96	-24.2	99.1	1000	none	A1		0.000	2400	K
R-424A	R-125/134a/600a/600/601a (50.5/47.0/0.9/1.0/0.6)	108.41	-39.7	85.9	970	none	A1		0.000	2400	K
R-425A	R-32/134a/227ea (18.5/69.5/12.0)	90.31	-38.2	93.9	1000	none	A1		0.000	1500	K
R-426A	R-125/134a/600/601a (5.1/93.0/1.3/0.6)	101.56	-28.4	99.8	990	none	A1		0.000	1400	K
R-427A	R-32/125/143a/134a (15.0/25.0/10.0/50.0)	90.44	-43.0	85.3	1000	none	A1		0.000	2100	K
R-428A	R-125/143a/290/600a (77.5/20.0/0.6/1.9)	107.53	-48.3	69.0	1000	none	A1		0.000	3500	K
R-429A	R-E170/152a/600a (60.0/10.0/30.0)	50.76	-25.5	123.5	1000	2.9	A3		0.000	20	K
R-430A	R-152a/600a (76.0/24.0)	63.96	-27.6	107.0	1000		A3		0.000	110	K
R-431A	R-290/152a (71.0/29.0)	48.80	-43.2	100.3	1000	2.2	A3		0.000	53	K
R-432A	R-1270/E170 (80.0/20.0)	42.82	-46.6	97.3	710	2.2	A3		0.000	16	
R-433A	R-1270/290 (30.0/70.0)	43.47	-44.4	94.4	880	2.0	A3		0.000	~20	
R-433B	R-1270/290 (5.0/95.0)	43.99	-42.5	96.3	950	1.8	A3		0.000	~20	
R-433C	R-1270/290 (25.0/75.0)	43.57	-44.1	94.8	790	1.8	A3		0.000	~20	
R-434A	R-125/143a/134a/600a (63.2/18.0/16.0/2.8)	105.74	-45.0	75.5	1000	none	A1		0.000	3100	K
R-435A	R-E170/152a (80.0/20.0)	49.04	-26.1	125.2	1000	3.5	A3		0.000	27	K
R-436A	R-290/600a (56.0/44.0)	49.33	-34.3	115.9	1000	1.7	A3		0.000	~20	
R-436B	R-290/600a (52.0/48.0)	49.87	-33.4	117.4	1000	1.7	A3		0.000	~20	
R-437A	R-125/134a/600/601 (19.5/78.5/1.4/0.6)	103.71	-32.9	96.3	990	none	A1		0.000	1700	K
R-438A	R-32/125/134a/600/601a (8.5/45.0/44.2/1.7/0.6)	99.10	-42.3	85.3	990	6.2	A1		0.000	2200	K
R-439A	R-32/125/600a (50.0/47.0/3.0)	71.21	-52.0	72.0	1000	10.4	A2	r	0.000	2000	K
R-440A	R-290/134a/152a (0.6/1.6/97.8)	66.23	-25.4	112.9	1000	4.8	A2	r	0.000	150	K
R-441A	R-170/290/600a/600 (3.1/54.8/6.0/36.1)	46.81	-41.5	117.3	1000	1.7	A3	r	0.000	~20	
R-500	R-12/152a (73.8/26.2)	99.30	-33.6	102.1	1000	none	A1		0.605	8100	M
R-502	R-22/115 (48.8/51.2)	111.63	-45.3	81.5	1000	none	A1		0.311	4600	M
R-503	R-23/13 (40.1/59.9)	87.25	-87.8	18.4	1000	none			0.000	14000	M
R-507A	R-125/143a (50.0/50.0)	98.86	-46.7	70.6	1000	none	A1		0.000	3800	K
R-508A	R-23/116 (39.0/61.0)	100.10	-87.6	10.2	1000	none	A1		0.000	13000	K
R-508B	R-23/116 (46.0/54.0)	95.39	-87.6	11.2	1000	none	A1		0.000	13000	K
R-509A	R-22/218 (44.0/56.0)	123.96	-49.7	68.4	1000	none	A1		0.018	5700	M
R-510A	R-E170/600a (88.0/12.0)	47.24	-25.2	127.9	1000	3.0	A3		0.000	3	K
R-600	CH3CH2CH2CH3 - butane	58.12	-0.5	152.0	1000	2.0	A3	0.018	0.000	~20	
R-600a	CH(CH3)2CH3 - isobutane	58.12	-11.7	134.7	1000	1.6	A3	0.016	0.000	~20	
R-601	CH3CH2CH2CH2CH3 - pentane	72.15	36.1	196.6	600	1.2	A3	0.009	0.000	~20	
R-601a	(CH3)2CHCH2CH3 - isopentane	72.15	27.8	187.2	600	1.3	A3	0.009	0.000	~20	
R-610	CH3CH2OCH2CH3 - ethyl ether	74.12	34.6	214.0	400	1.9			0.000		

Tabela 2-1: Dados físicos, ambientais e de segurança para refrigerantes históricos, atuais e candidatos (continuação)

refrigerant number	chemical formula - common name	physical data			safety data			environmental data			status
		molecular mass	NBP (°C)	Tc (°C)	OEL (PPM)	LFL (%)	Std 34 safety group	atmospheric life (yr)	ODP	GWP 100 yr	
R-611	HCOOCH3 - methyl formate	60.05	31.7	214.0	100	4.5	B2	0.197	0.000		
R-630	CH3(NH2) - methylamine	31.06	-6.7	156.9	5	4.9					
R-631	CH3CH2(NH2) - ethylamine	45.08	16.6	183.0	5	3.5					
R-704	He - helium	4.00	-268.9	-268.0		none	A1		0.000		
R-702	H2 - normal hydrogen	2.02	-252.8	-240.0		4.0	A3		0.000		
R-717	NH3 - ammonia	17.03	-33.3	132.3	25	16.7	B2L r	<0.02	0.000	<1	
R-718	H2O - water	18.02	100.0	373.9		none	A1		0.000	<1	
R-729	air - 78% N2, 21% O2, 1% Ar, +	28.97	-194.2	-140.3		none			0.000	0	
R-744	CO2 - carbon dioxide	44.01		31.0	5000	none	A1	>50	0.000	1	
R-764	SO2 - sulfur dioxide	64.06	-10.0	157.5	2	none	B1		0.000		
HC-1150	CH2=CH2 - ethylene	28.05	-103.8	9.2	200	3.1	A3	0.004	0.000	<20	
HFC-1234yf	CH2=CF3	114.04	-29.5	94.7	500r	6.2	A2L r	0.029	0.000	<4.4	K
HFC-1234ze(E)	CHF=CHCF3	114.04	-19.0	109.4	1000	7.6		0.045	0.000	6	K
HC-1270	CH3CH=CH2 - propylene	42.08	-47.6	91.1	500	2.7	A3	0.001	0.000	<20	

NBP = normal boiling point temperature; Tc = critical temperature; OEL = Occupational Exposure Limit (8 hr time-weighted average unless preceded by C for ceiling limit); LFL = lower flammability limit (% volume in air), "wff" signifies that the worst case of fractionation is flammable; ODP = ozone depletion potential; GWP = global warming potential; status code of "K" or "M" indicates control by the Kyoto or Montreal Protocol

Suffixes to safety classifications indicate changes that are not final yet ("d" for deletion or "r" for revision or addition) or classifications assigned as provisional ("p"); "d" alone indicates that a prior classification was deleted (withdrawn).

Data sources are identified in the Refrigerant Database; verify data and limitations in these sources before use. © JMC 2010.12.30

Os dados apresentados, da esquerda para a direita na tabela são:

- ♦ número de refrigerante, se atribuído, de acordo com a Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE) Standard 34 /ASH10a, ASH10b/: A revisão de uma norma internacional está em andamento, mas ainda não é final, como o principal documento de designação e critérios de segurança /ISO05b, ISO08/, mas os sistemas de designação propostos são essencialmente consistentes.
- ♦ fórmula química, de acordo com a convenção da União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) /IUP79/ ou, para misturas, composição da mistura de acordo com o Padrão 34 da ASHRAE /ASH10a, ASH10b/
- ♦ massa molecular calculada /Cal11/ com base nos pesos atômicos atualizados da IUPAC /Wie09/
- ♦ ponto de ebulição normal (NBP) ou, para misturas, a temperatura do ponto de bolha a 101,325 kPa com base no REFPROP 9.0 /Lem10/ quando incluído
- ♦ temperatura crítica (T_c) em °C ou, para misturas, a temperatura pseudocrítica calculada com base no REFPROP 9.0 /Lem10/ quando incluída
- ♦ limite de Exposição Ocupacional (LEO) tais como o Valor Limite de Tolerância (VLT) em ppm v/v atribuído pela Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais (ACGIH), Nível de Exposição Ambiental no Local de Trabalho (WEEL) pela Associação Americana de Higiene Industrial (AIHA) ou um limite de exposição ocupacional consistente com base em uma média ponderada por tempo (TWA) para um dia de 8 a 10 horas e uma semana de 40 horas de trabalho
- ♦ limite inferior de inflamabilidade (LFL) em % de concentração no ar ambiente: Quando evidente, os valores tabelados são determinados em conformidade com o Padrão 34 da ASHRAE /ASH10a, ASH10b/.
- ♦ classificação de segurança, se atribuída, em conformidade com o Padrão 34 da ASHRAE /ASH10a, ASH10b/: As letras A e B significam toxicidade "inferior" e "superior", respectivamente, com base nos limites de exposição ocupacional. Os números 1, 2 e 3 indicam "sem propagação de chamas", "baixa inflamabilidade" e "maior inflamabilidade", respectivamente, em condições de teste específicas baseadas no LFL e no calor de combustão. wff significa que o pior caso de formulação e o pior caso de fracionamento para inflamabilidade, respectivamente, conforme definidos em /ASH10a/, é inflamável na fase de vapor ou na fase líquida. Uma modificação recente na ASHRAE 34, também proposta para a International Organization for Standardization (ISO) 817 /ISO08/, subdivide o grupo 2 com base na velocidade de queima, sendo que 2L indica os de mais difícil ignição /ASH10a/. Algumas das classificações são seguidas ou substituídas por letras minúsculas que indicam:
 - d uma classificação anterior foi excluída e o refrigerante não tem mais uma classificação de segurança
 - p uma classificação atribuída de maneira provisória
 - r uma revisão ou adição recomendada conforme mostrado, mas aguarda aprovação final e/ou publicação
- ♦ tempo de vida atmosférica (W_{atm}) em anos: Observe que o W_{atm} normalmente não é indicado para misturas, pois é ambíguo se diz respeito ao período de vida da mistura, tal como formulada, a uma formulação modificada, na medida em que alguns componentes se decompõem mais rapidamente do que outros, ou ao componente mais duradouro.
- ♦ potencial de destruição do ozônio (PDO) relativo ao CFC-11: PDOs indicam a capacidade relativa de refrigerantes (e outros produtos químicos) destruírem o ozônio estratosférico. Os valores incluídos refletem os últimos dados científicos de consenso tal como adotados na *Avaliação Científica* /WMO10/. Outros dados do PDO consistentes são incluídos conforme disponíveis a partir das referências Cal10 e Cal11 para refrigerantes para os quais PDOs de consenso não foram adotados. Os PDOs indicado para misturas são médias ponderadas por massa /Cal10 e Cal11/ com base nos mais recentes pesos atômicos aceitos da IUPAC /Wie09/ para os componentes.
- ♦ potencial de aquecimento global (PAG) relativo ao CO₂ para integração de 100 anos com base nos valores relatados no *Quarto Relatório de Avaliação* do IPCC /IPCC07/ e na *Avaliação Científica* /WMO10/. Os valores apresentados são PAGs diretos; PAG indiretos e líquidos são discutidos nas referências IPCC07 e WMO10. Outros dados do PAG consistentes são também incluídos conforme disponíveis a partir das referências Cal10 e Cal11 para refrigerantes para os quais PAGs de consenso não foram adotados. Os PAGs indicados para misturas são médias ponderadas por massa /Cal10 e Cal11/ com base nos mais recentes pesos atômicos aceitos da

IUPAC /Wie09/ para os componentes. Os valores de PAG mostrados como “~ 20” ou “<20” na Tabela 2-1 para hidrocarbonetos refletem a incerteza no cálculo, para os quais não havia consenso científico no momento. As aproximações apresentadas encontram-se nas faixas de incerteza.

- ♦ **status:** Refrigerantes restritos (limitações de produção, eliminação ou medidas para redução de emissões) por razões ambientais são apontados como segue:

Controlado M (ou, para misturas, um ou mais componentes são controlados pelo Protocolo de Montreal

Controlado K (ou, para misturas, um ou mais componentes são controlados pelo Protocolo de Kyoto

2.2.1 Potenciais de Destruição do Ozônio

Os PDOs indicados na Tabela 2-1 são valores *semi-empíricos* exceto para o HCFC-123, para o qual um valor derivado de modelo foi adotado em avaliações científicas, devido a seu curto tempo de vida atmosférica /WMO10/. PDOs semi-empíricos são valores calculados que incorporam ajustes para medições atmosféricas observadas. Esta abordagem é conceitualmente mais precisa que outras medidas, mas os dados necessários são difíceis de medir com precisão e ainda estão evoluindo com medições e entendimento mais amplos e aperfeiçoados. Há outros índices de PDO, entre eles variantes *modeladas*, *dependentes do tempo* e *regulamentares* /Cal07 e Cal11/. Os dados modelados são determinados por grandes modelos que calculam impactos com base em caminhos de decomposição e taxas, bem como condições atmosféricas, incluindo as influências de outras substâncias que destroem a camada de ozônio. PDOs dependentes do tempo usam produtos químicos diferentes do CFC-11 como referência para enfatizar os impactos para outros períodos, normalmente mais curtos. A normalização de valores para compostos de curta duração acentua os impactos em curto prazo, mas desconta os efeitos de longo prazo. PDOs dependentes do tempo não são citados com frequência, especialmente porque o lançamento de substâncias que destroem a camada de ozônio já atingiu o pico e porque a recuperação da camada de ozônio estratosférico está em andamento. PDOs regulatórios geralmente são dados antigos usados para definir as etapas da eliminação, determinar o cumprimento do Protocolo de Montreal e atribuir cotas de produção em regulamentos nacionais. Devido às complexidades políticas e competitivas na alteração de metas de consumo e alocações de produção, esses valores normalmente são deixados inalterados mesmo quando novas descobertas científicas melhoram a precisão da quantificação. Os valores de PDO listados nos anexos do Protocolo de Montreal, por exemplo, não são atualizados desde 1987 para clorofluorcarbonos (CFCs) e desde 1992 para hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs). Uma observação no Protocolo indica que os valores “são estimativas baseadas no conhecimento existente e serão revistos e revisados periodicamente”, mas isso ainda não aconteceu /UNEP09/.

2.2.2 Dados de PDO e PAG para fins de regulamentação e relatório

Os dados do PDO e PAG apresentados na Tabela 2-1 são baseados em avaliações científicas internacionais e refletem as determinações de consenso mais recentes sobre possíveis impactos. No entanto, as exigências de redução e alocações no âmbito do Protocolo de Montreal, as reduções de emissões e os relatórios nos termos do Protocolo de Kyoto e disposições em muitos regulamentos nacionais em conformidade com esses protocolos usam valores adotados mais antigos.

A Tabela 2-2 compara os dados de consenso mais recentes sobre PDO /WMO10/ aos PDOs "regulatórios" usados no Protocolo de Montreal /UNEP09/. De maneira semelhante, a Tabela 2-3 contrasta os PAGs de consenso mais recentes, para integração em 100 anos, com aqueles utilizados para relatórios e redução de emissões no âmbito do Protocolo de Kyoto (de /IPCC95/).

Tabela 2-2: PDOs científicos e regulatórios para refrigerantes BFC, CFC e HCFC

refrigerante	PDO	
	científico ^a	regulatório
11	1,0	1,0
12	0,82	1,0
12B1	7,9	3,0
13		1,0
13B1	15,9	10,0
21		0,04
22	0,04	0,055
113	0,85	0,8
114	0,58	1,0
115	0,57	0,6
123	0,01	0,02
124	0,02	0,022
142b	0,06	0,065

^a Os PDOs indicados estão conforme adotados na referência /WMO10/. Eles são semi-empíricos, exceto para o HCFC-123, que é um valor modelado (0,0098) baseado em sua curta vida atmosférica.

Tabela 2-3: PAGs atuais de consenso e relatório para integração em 100 anos para refrigerantes HFC e PFC

refrigerante	PAG	
	/WMO10/	relatório
14	7,390	6,500
23	14,200	11,700
32	716	650
116	12,200	9,200
125	3,420	2,800
134a	1,370	1,300
143a	4,180	3,800
152a	133	140
218	8,830	7,000
227ea	3,580	2,900
236fa	9,820	6,300
C318	10,300	8,700
744	1	1

2.3 Situação atual e necessidade de dados para pesquisa

2.3.1 Propriedades termofísicas

A disponibilidade atual de dados sobre as propriedades termofísicas de refrigerantes, que incluem tanto propriedades termodinâmicas (como densidade, pressão entalpia, entropia e calor específico) e propriedades de transporte (como viscosidade, condutividade térmica e tensão superficial) é geralmente boa. Os dados são suficientes para permitir a avaliação e o teste de praticamente todos os refrigerantes candidatos, com a exceção dos hidrofluorquímicos insaturados mais novos (ver §2.1.2 acima). Existem lacunas de dados, no entanto, para as propriedades termodinâmicas e de transporte de misturas e fluidos menos comuns.

Os dados termodinâmicos e os modelos matemáticos para os HFCs mais comuns (HFC-32, HFC-125 e HFC-134a) e para as misturas de HFC (R-404A, R-407C, R-410A e R-507A) são geralmente excelentes. Os dados muitas vezes são limitados para novas misturas. Os dados de transporte para

esses fluidos são bons para refrigerantes de único composto, mas são necessários dados adicionais e melhores modelos para os HFCs e algumas misturas de hidrocarbonetos. Os dados termodinâmicos para o HC-290 (propano), o HC-600 (n-butano) e o HC-600a (isobutano) são geralmente muito bons. Os dados para o R-717 (amônia) não são tão bons quanto se costuma imaginar; grande parte dos dados são antigos e por vezes inconsistentes e/ou limitados em sua abrangência. Os dados de propriedades para o R-744 (dióxido de carbono) são excelentes.

Uma norma internacional fornece propriedades termodinâmicas de dez refrigerantes de composto único e de quatro misturas /ISO05a/. O banco de dados REFPROP do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST) dos EUA /Lem10/ implementa e fornece referências a modelos publicados para as propriedades termodinâmicas e de transporte de todos os refrigerantes e misturas mais comuns. Calcula propriedades em amplos intervalos de temperatura, pressão e composição, estando em conformidade com a norma ISO /ISO05a/.

A situação de dados para fluidos menos comuns é mais variável. Há interesse nos éteres e particularmente nos hidrofluoréteres (HFEs) /Biv97, Sek00/. Os dados disponíveis para eles estão frequentemente dispersos em fontes obscuras. É necessário recolher e avaliar os dados para tais candidatos.

Estão começando a surgir propriedades para HFCs insaturados /por exemplo, Bro09a, Bro09b, Din10, Gre09, Hig10, Kay10, McL10, Ric10, Tan09 e Tan10/ e outros estudos estão em andamento. Dois desses refrigerantes foram adicionados ao REFPROP 9.0 em 2010 /Lem10/.

Uma grande incerteza para todos os refrigerantes é a influência de lubrificantes na transferência de calor e em outras propriedades. Na maioria dos sistemas, o fluido de trabalho é na realidade uma mistura do refrigerante e do lubrificante utilizado no(s) compressor(es). Pesquisas sobre misturas de refrigerante-lubrificante estão em andamento. Elas se tornam mais complicadas em função da grande variedade de lubrificantes em uso e pela natureza muitas vezes altamente privada da estrutura química ou das composições do lubrificante e/ou dos aditivos. Além das propriedades que causam impacto em si (especialmente da viscosidade e da transferência de calor), a escolha, as propriedades e a degradação de lubrificantes têm impactos substanciais sobre o desgaste de equipamentos que, por sua vez, altera o desempenho de previsões baseadas nas propriedades do refrigerante.

2.3.2 Transferência de calor e dados de compatibilidade

A tecnologia de transferência de calor dos refrigerantes foi extensivamente estudada e documentada por pesquisadores em vários países. Dois relatórios de autoria de Thome /Tho98a e Tho98b/ fornecem análises abrangentes da transferência de calor na evaporação e condensação para muitos refrigerantes, incluindo fluorquímicos, hidrocarbonetos, amônia e dióxido de carbono. Os relatórios abrangem ebulição e condensação de refrigerantes de um único composto em tubo e do lado da carcaça (*shell-side*), misturas azeotrópicas e zeotrópicas e misturas de refrigerante-lubrificante. Eles tratam de tubos lisos, tubos aletados internamente com aletas convencionais e com ranhuras cruzadas e tanto de tubos convencionais com aletas baixas quanto de tubos aprimorados com aletas externas e evaporação de filme descendente. Outras resenhas da tecnologia de transferência de calor de refrigerantes incluem Ohadi et al. /Oha96/ para amônia, Pais e Webb /Pai91/ para ebulição em piscina em superfícies intensificadas, Cavallini et al. /Cav95/ para modelos de condensação de refrigerantes dentro de tubos lisos e com aletamento, Darabi et al. /Dar95/ para correlações de fluxo de calor na ebulição em tubos lisos (*smooth*) e com aletamento (*augmented*), Singh et al. /Sin95/ em intensificação eletrohidrodinâmica da transferência de calor e uma série de artigos sobre a transferência de calor de dióxido de carbono, amônia e hidrocarbonetos /IIR97/.

Muitos tipos de sistemas de refrigeração e ar condicionado operam com refrigerantes fluorquímicos, hidrocarbonetos, amônia e dióxido de carbono, baseados em dados de transferência de calor do refrigerante razoavelmente adequados. Os dados de transferência de calor com maior disponibilidade são os dos refrigerantes fluorcarbonos (agora principalmente HFCs) e os de amônia. A partir dos relatórios acima mencionados, bem como das contribuições de outros pesquisadores, as seguintes necessidades de pesquisa foram determinadas:

- dados de teste para ponto de ebulição e condensação do lado da carcaça (*shell-side*) de misturas zeotrópicas

- dados de transferência de calor local determinados com valores específicos de título de vapor
- dados de transferência de calor do lado do refrigerante do trocador de calor de microcanais, incluindo efeitos de distribuição de fluxo
- efeitos de lubrificantes sobre a transferência de calor, especialmente para amônia, dióxido de carbono, hidrocarbonetos, HCFCs insaturados e HFCs insaturados
- dados de condensação e evaporação precisos para hidrocarbonetos em tubos simples e tubos microaletados
- dados de transferência de calor de condensação dentro do tubo para o dióxido de carbono a baixas temperaturas, como -20 °C
- correlações de transferência de calor para rejeição de calor e evaporação bifásica do dióxido de carbono em ciclo supercrítico

Os dados de compatibilidade de materiais estão disponíveis a partir de várias fontes, entre as quais se encontram a literatura dos fabricantes (fabricantes de refrigerantes, plásticos e elastômeros), publicações sobre a resistência química de materiais e uma série de estudos realizados para o Programa de Pesquisa de Compatibilidade de Materiais e Pesquisa de Lubrificantes (MCLR) do Instituto de Tecnologia de Ar Condicionado e Refrigeração (ARTI). Os relatórios do MCLR trataram da compatibilidade de refrigerantes e lubrificantes com metais, materiais de motor elétrico, elastômeros, plásticos de engenharia, dessecantes e aditivos de lubrificantes /Cav93, Cav97, Doe93, Doe96, Fie95, Ham94 e Hut92/. Os estudos do MCLR concentraram-se principalmente nos substitutos fluorquímicos para CFCs por meio de testes de tubo selado e outros testes laboratoriais. Em geral, descobriu-se que os HFCs são menos reativos que os HCFCs, como HCFC-22 ou HCFC-123. Como resultado, a maioria dos materiais aceitos como compatíveis com HCFC também foram considerados compatíveis com HFCs. Um estudo estatístico de compressores identificou o ar como contaminante mais agressivo, formando produtos lubrificantes oxidados, com base em testes para condições não ideais de contaminantes (com adição de água, ar e ácidos orgânicos) /Cav00/. Além disso, água e o desenvolvimento de ácido com ar afetou o desempenho mecânico geral /Cav00/. O estudo sugere que investigações de compatibilidade adicionais podem ser necessárias para condições não ideais.

Embora os dados reais ainda sejam muito limitados, haloquímicos insaturados (por exemplo, HFCs insaturados – HFOs) podem ser menos estáveis termicamente nas temperaturas de funcionamento do compressor. Estudos limitados relatam estabilidade favorável em testes em tubos selados anidro, livres de ar /Lec09/, mas os efeitos de decomposição ou corrosão – especialmente na presença de níveis de contaminantes comuns em sistemas reais – precisam ser mais bem estudados.

Uma grande fonte de dados de compatibilidade de materiais para dióxido de carbono, amônia e hidrocarbonetos são três manuais de resistência química de autoria de Pruett que tratam de metais, compostos elastoméricos e plásticos de engenharia /Pru83, Pru94 e Pru95/. Como plásticos e elastômeros contêm vários tipos de aditivos (a maioria deles patenteados), materiais específicos devem ser testados para garantir a compatibilidade.

A amônia é incompatível com a maioria dos tipos de isolamento de cabos elétricos. Os metais em sistemas de amônia normalmente são limitados a aço inox e aço carbono, mas duas publicações da Alemanha /Kna97 e Lip97/ relatam boa compatibilidade da amônia com o cobre e com ligas de cobre em sistemas com cuidadoso controle de umidade, pois a água pode resultar em severa corrosão do cobre. O alumínio é compatível com amônia pura (seca), mas é sensível à corrosão em circuitos de com água, devido à presença de cloretos. As soluções aquosas de amônia causam corrosão que coloca em risco componentes de alumínio, mas revestimentos podem prevenir a corrosão /Eur00/. Mais estudos são necessários para determinar os níveis precisos de umidade que causam preocupação, com a consideração dos diferentes níveis de higroscopicidade de diferentes lubrificantes.

Um problema de materiais com dióxido de carbono é a descompressão explosiva com elastômeros, especialmente em sistemas com ciclagem de pressão. O dióxido de carbono é muito solúvel em muitos tipos de elastômeros e, se não consegue se difundir para fora do elastômero de forma suficientemente rápida, bolhas de gás podem crescer e causar a ruptura de selos elastoméricos. A descompressão explosiva pode ser minimizada através da escolha de elastômeros com propriedades mecânicas adequadas e resistência ao rasgamento, baixo coeficiente de solubilidade de dióxido de carbono e elevado coeficiente de difusão de dióxido de carbono /Har99/.

Testes em tubos selados contendo HC-290 (propano) e HC-600a (isobutano), com vários óleos, materiais e ar mostram degradação insignificante /San96/. Em outros testes em tubos selados, diversos elastômeros foram testados com uma mistura de R-290/600a ou HC-601 (n-pentano), com óleo mineral ou poliéster (POE). Buna N, borracha de nitrilo butadieno hidrogenado (HNBR), Viton e neoprene tiveram bom desempenho, enquanto borrachas naturais, de silício e de terpolímero de etileno-propileno-dieno (EPDM) foram menos adequadas /Col00/. Detectou-se que impurezas no nível de 3% em HC-290 não afetam o desempenho dentro das incertezas de medição, desde que os níveis de enxofre, água e hidrocarbonetos insaturados sejam estritamente limitados /Kru97/.

2.3.3 Dados de segurança

Os principais perigos associados ao manuseio e ao uso de refrigerantes estão ligados a explosões devido a altas pressões, toxicidade, inflamabilidade e deslocamento de ar, sendo que este último pode levar a privação de oxigênio e asfixia /Cal94/.

Dados de pressão são geralmente bem caracterizados conforme o necessário para o componente e o design do sistema. Normas de segurança como a *Norma de Segurança para Sistemas de Refrigeração 15* do Instituto Americano de Normas Nacionais/Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ANSI/ASHRAE), /ASH10c/, que é a base de muitos regulamentos e normas nacionais e internacionais, fornecem orientações sobre os requisitos de vasos de pressão, dispositivos de alívio de pressão e testes.

Problemas de toxicidade surgem tanto de emissões acidentais quanto de manuseio, por exemplo, para instalar, fazer a manutenção e remover o equipamento /Cal94 e Cal96/. Os dados são divididos em agudos (exposição única, de curto prazo) e crônicos (exposição de longo prazo, possivelmente repetida). Os principais efeitos agudos incluem letalidade, sensibilização cardíaca, efeitos anestésicos, sobre o sistema nervoso central (SNC) ou outros que possam afetar a capacidade de escapar ou causar danos permanentes. A maioria desses efeitos decorre da inalação, e não do contato ou ingestão, uma vez que um atributo desejável de refrigerantes é que eles sejam compostos voláteis e, como resultado, sejam vapores em condições típicas ou se tornem vapor rapidamente em contato com temperaturas corporais. Por conseguinte, é difícil ter contato prolongado ou ingerir quantidades suficientes antes que os efeitos da inalação sejam sentidos. As exceções são refrigerantes que irritam ou corroem a pele.

Os dados de segurança e as recomendações resultantes para limites de concentração de refrigerante e limites de exposição ocupacional geralmente estão disponíveis para refrigerantes fluoroquímicos /Cal00, Cal07 e Cal10/. Os dados são tipicamente desenvolvidos, principalmente através de ensaios em animais, por parte dos fabricantes, no decurso da fase de qualificação de novos candidatos. Um esforço colaborativo entre os fabricantes, o Programa para Teste da Toxicidade de Fluorcarbonos Alternativos (PAFT), desenvolveu dados extensos para novos substitutos fluoroquímicos para CFCs /PAF95 e PAF96/.

Os dados estão menos prontamente disponíveis para os hidrocarbonetos e, geralmente, são escassos para exposições acima de concentrações de risco de incêndio, embora os efeitos tóxicos de hidrocarbonetos geralmente não sejam evidentes abaixo deles /Kir76/. Os riscos inerentes ao teste de misturas inflamáveis e a presunção histórica de que as exposições de aplicação serão mantidas abaixo do LFL pesam contra o teste em concentrações mais elevadas.

Dados extensos estão disponíveis para a amônia /Cle90 e Syr90/ e para o dióxido de carbono /NIO76/, mas grande parte deles antecede critérios de teste de toxicidade atualmente aceitos, resultando em conflitos a partir de testes antigos com métodos laboratoriais primitivos e amostras contaminadas.

Dados adicionais são necessários para candidatos fluoroéteres e hidrofluoroéteres /Biv97 e Sek00/ e para fluoroquímicos insaturados.

Os dados de inflamabilidade estão geralmente disponíveis /Ric92, Cal07, ASH10a/, embora os dados de dispersão a partir de diferentes métodos de teste e laboratórios conduzam a um grau de incerteza em alguns casos.

2.4 Referências

- /ASH10a/ *Designation and Safety Classification of Refrigerants*, ANSI/ASHRAE Standard 34-2010, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 2010
- /ASH10b/ *Designation and Safety Classification of Refrigerants*, ANSI/ASHRAE Addenda a, b, and d to ANSI/ASHRAE Standard 34-2010, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 2010
- /ASH10c/ *Safety Standard for Refrigeration Systems*, ANSI/ASHRAE Standard 15-2010, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 2010
- /Biv97/ D. B. Bivens and B. H. Minor, "Fluoroethers and Other Next-Generation Fluids", *Refrigerants for the 21st Century (proceedings of the ASHRAE/NIST Refrigerants Conference*, Gaithersburg, MD, 6-7 October 1997), American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 122-134, 1997; *International Journal of Refrigeration*, 21(7):567-576, 1998
- /Bro09a/ J. S. Brown, C. Zilio, and A. Cavallini, "Estimations of the Thermodynamic and Transport Properties of R-1234yf Using a Cubic Equation of State and Group Contribution MethSDO," *Proceedings of the 3rd IIR Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants* (Boulder, CO, USA, June 23-26, 2009), International Institute of Refrigeration, Paris France, and the National Institute of Standards and Technology (NIST), Boulder, CO, USA, paper 127, June 2009
- /Bro09b/ J. S. Brown, "HFOs: New, Low Global Warming Potential Refrigerants," *ASHRAE Journal*, 51(8):22-29, August 2009
- /Cal94/ J. M. Calm, "Refrigerant Safety," *ASHRAE Journal*, 36(7):17-26, July 1994
- /Cal96/ J. M. Calm, "The Toxicity of Refrigerants," *Proceedings of the 1996 International Refrigeration Conference at Purdue* (23-26 July 1996), Purdue University, West Lafayette, IN, USA, 157-162, July 1996
- /Cal00/ J. M. Calm, "Toxicity Data to Determine Refrigerant Concentration Limits," report DOE/CE/23810-110, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute (ARTI), Arlington, VA, USA, September 2000
- /Cal07/ J. M. Calm and G. C. Hourahan, "Refrigerant Data Summary Update," *HPAC Engineering*, 79(1):50-64, January 2007
- /Cal08/ J. M. Calm, "The Next Generation of Refrigerants — Historical Review, Considerations, and Outlook," *International Journal of Refrigeration*, 31(7):1123-1133, November 2008
- /Cal10/ J. M. Calm, "Refrigerant Database," Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute (ARTI), Arlington, VA, USA, July 2001 and unpublished updates thereto though 2010
- /Cal11/ J. M. Calm and G. C. Hourahan, "Physical, Safety, and Environmental Data Summary for Current and Alternative Refrigerants," *Proceedings for the 23rd International Congress of Refrigeration* (Prague, Czech Republic, 21-26 August 2011), International Institute of Refrigeration (IIR), Paris, France, 2011 (in preparation)
- /Cav93/ R. C. Cavestri, "*Compatibility of Refrigerant and Lubricants with Engineering Plastics*", report DOE/CE/23810-15, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute, Arlington, VA, USA, September 1993, revised December 1993
- /Cav95/ A. Cavallini et al., "Condensation of New Refrigerants Inside Smooth and Enhanced Tubes," *Proceedings of the 19th International Congress of Refrigeration* (The Hague, The Netherlands, 20-25 August 1995), International Institute of Refrigeration (IIR), Paris, France, IVa:105-114, 1995
- /Cav97/ R. C. Cavestri et al., *Compatibility of Lubricant Additives with HFC Refrigerants and Synthetic Lubricants* (Final Report, Part 1), report DOE/CE/23810-76, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute, Arlington, VA, USA, July 1997

- /Cav00/ R. C. Cavestri, *Effect of Selected Contaminants in Air Conditioning and Refrigeration Equipment* (Final Report), report ARTI MCLR DOE/CE/23810-111, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute, Arlington, VA, USA, 2000
- /Cle90/ Clement Associates, Incorporated, *Health Effects Assessment for Ammonia*, The Fertilizer Institute, Washington, DC, USA, February 1990
- /Col00/ D. Colbourne and T. J. Ritter, "Compatibility of Non-Metallic Materials with Hydrocarbon Refrigerant and Lubricant Mixtures," *Proceedings of the 4th IIR-Gustav Lorentzen Conference Natural Working Fluids* (25-28 July 2000), Purdue University, West Lafayette, IN, USA, 395-400, 2000
- /Dar95/ J. Darabi, M. Salehi, M.H. Saeedi and M. M. Ohadi, "Review of Available Correlations for Prediction of Flow Boiling Heat Transfer in Smooth and Augmented Tubes," paper CH-95-12-2, *Transactions* (Winter Meeting, Chicago, IL, USA, 28 January – 1 February 1995), American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA, 101(1):965-975, 1995
- /Din10/ G. Di Nicola, M. Pacetti, F. Polonara, and G. Santori, "PVT Behavior of 2,3,3,3-Tetrafluoroprop-1-ene (HFO-1234yf) in the Vapor Phase from 243 to 373 K," *Journal of Chemical and Engineering Data*, 55(9):3302–3306, 2010
- /Doe93/ R. G. Doerr and S. A. Kujak, "Compatibility of Refrigerants and Lubricants with Motor Materials," report DOE/CE/23810-13, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute, Arlington, VA, USA, May 1993
- /Doe96/ R. G. Doerr and T. D. Waite, "Compatibility of Refrigerants and Lubricants with Motor Materials under Retrofit Conditions," report DOE/CE/23810-63, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute, Arlington, VA, USA, October 1996
- /Eur00/ Eurammon, *Aluminum as Construction Material in Ammonia Refrigeration Cycles*, information bulletin 10, Frankfurt, Germany, 2000.01
- /Fie95/ J. E. Field, "Sealed Tube Comparisons of the Compatibility of Desiccants with Refrigerants and Lubricants," report DOE/CE/23810-54, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute, Arlington, VA, USA, May 1995
- /Gre09/ A. J. Grebenkov, R. Hulse, H. Pham, and R. Singh, "Physical Properties and Equation of State for Trans-1,3,3,3-Tetrafluoropropene," *Proceedings of the 3rd IIR Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants* (Boulder, CO, USA, 23-26 June 2009), paper 191, International Institute of Refrigeration, Paris France, and the National Institute of Standards and Technology (NIST), Boulder, CO, USA, June 2009
- /Ham94/ G. R. Hamed, R. H. Seiple, and O. Taikum, "Compatibility of Refrigerant and Lubricants with Elastomers," report DOE/CE/23810-14, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute, Arlington, VA, USA, January 1994
- /Har99/ C. Harrison, "Keeping CO₂ Where It Belongs. Requirements for Sealing Future Automotive Climate Control Systems," Meeting Results and Presentations, SAE International Automotive Alternate Refrigerant Systems Symposium, Scottsdale, AZ, USA, 28 June – 1 July 1999
- /Hig10/ Y. Higashi, "Thermophysical Properties of HFO-1234yf and HFO-1234ze(E)," *Proceedings of the International Symposium on Next-Generation Air Conditioning and Refrigeration Technology* (Tokyo, Japan), New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), Kawasaki City, Kanagawa Prefecture, Japan, February 2010
- /Hut92/ D. F. Huttenlocher, "Chemical and Thermal Stability of Refrigerant-Lubricant Mixtures with Metals," report DOE/CE/23810-5, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute, Arlington, VA, USA, 9 October 1992
- /IIR97/ *Heat Transfer Issues in Natural Refrigerants* (proceedings of the IIR Conference – meeting of Commissions B1, E1, and E2, University of Maryland, College Park, MD, USA, 6-7 November 1997), publication 1997/5, International Institute of Refrigeration, Paris, France, 1997

- /IPCC95/ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of the World Meteorological Organization (WMO) and the United Nations Environment Programme (UNEP), “Climate Change 1995 — Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,” edited by J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1996
- /IPCC05/ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the Technology and Economic Assessment Panel (TEAP), *Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons*, World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland, and the United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 2005
- /IPCC07/ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of the World Meteorological Organization (WMO) and the United Nations Environment Programme (UNEP), “Climate Change 2007: The Scientific Basis — Contribution of Working Group I to the IPCC Fourth Assessment Report,” edited by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2007
- /ISO05a/ “Refrigerant Properties,” ISO standard 17584:2005, International Organization for Standardization (ISO), 2005
- /ISO05b/ “Refrigerants — Designation System,” ISO standard 817:2005, International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 15 January 2005
- /ISO08/ “Refrigerants — Designation and Safety Classification,” ISO working document ISO/DIS 817:2008, International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 1 February 2008
- /IUP79/ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), “Nomenclature of Organic Chemistry, Sections A, B, C, D, E, F, and H,” prepared by J. Rigaudy and S. P. Klesney, Pergamon Press Incorporated, New York, NY, USA, 1979
- /Kaj10/ H. Kajihara et al., “Estimation of environmental concentrations and deposition fluxes of R-1234yf and its decomposition products emitted from air conditioning equipment to atmosphere,” paper NS24, *Proceedings of the 2010 International Symposium on Next-Generation Air Conditioning and Refrigeration Technology*, Tokyo, Japan, 17-19 February 2010
- /Kay10/ Y. Kayukawa, K. Fujii, R. and Akasaka, “Thermodynamic Property Measurements for HFO 1234yf and its Binary Mixtures,” *Proceedings of the International Symposium on Next-Generation Air Conditioning and Refrigeration Technology* (Tokyo, Japan), New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), Kawasaki City, Kanagawa Prefecture, Japan, February 2010
- /Kir76/ C. J. Kirwin, “Toxicological Review of Propane, Butane, Isobutane, Pentane, and Isopentane,” Phillips Petroleum Company, Bartlesville, OK, USA, November 1976
- /Kna97/ M. Knabe, S. Reinhold, and J. Schenk, “Ammoniakanlagen und Kupfer-Werkstoffe?” [Ammonia Systems and Cuprous Materials?], *Ki Luft und Kältetechnik*, 33(9):394-397, 1997
- /Kru97/ H. H. Kruse and T. Tiedemann, “Experience with HC Refrigerants and Projections for Future Applications,” *Refrigerants for the 21st Century* (proceedings of the ASHRAE/NIST refrigerants conference, Gaithersburg, MD, USA, 6-7 October 1997) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA, 44-56, 1997
- /Lec09/ Leck, T. J., “Evaluation of HFO-1234yf as a Potential Replacement for R-134a in Refrigeration Applications,” *Proceedings of the 3rd IIR Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants* (Boulder, CO, USA, June 23-26, 2009), International Institute of Refrigeration, Paris France, and the National Institute of Standards and Technology (NIST), Boulder, CO, USA, paper 155, June 2009
- /Lem10/ E. W. Lemmon, M. L. Huber, and M. O. McLinden, “NIST Standard Reference Database 23, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties –REFPROP” (version 9.0), Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology 2010 TOC Refrigeration, A/C and Heat Pumps Assessment Report

(NIST), Gaithersburg, MD, USA, 2010

- /Leu10/ D. J. Luecken, R. L. Waterland, S. Papasavva, K. N. Taddonio, W. T. Hutzell, J. P. Rugh, and S. O. Andersen, "Ozone and TFA Impacts in North America from Degradation of 2,3,3,3-Tetrafluoropropene (HFO-1234yf), A Potential Greenhouse Gas Replacement," *Environmental Science and Technology*, 44(1): 44,343–348, 2010
- /Lip97/ H. Lippold, "Kupferwerkstoffe in Ammoniakanlagen" [Cuprous Materials in Ammonia Systems], *KK Die Kälte- und Klimatechnik*, 50(10):730-735, October 1997
- /McL10/ M. O. McLinden, M. Thol, and E. W. Lemmon, "Thermodynamic Properties of trans-1,3,3,3-Tetrafluoropropene [R1234ze(E)]: Measurements of Density and Vapor Pressure and a Comprehensive Equation of State," *Proceedings of the International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue*, Purdue University, West Lafayette, IN, USA, July 2010.
- /NIO76/ "Criteria for a Recommended Standard — Occupational Exposure to Carbon Dioxide," publication 76-194, National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, OH, USA, August 1976
- /Oha96/ M. M. Ohadi, S. S. Li, R. K. Radermacher, and S. V. Dessiatoun, "Critical Review of Available Correlations for Two-Phase Flow Heat Transfer of Ammonia," *International Journal of Refrigeration*, 19(4):272-284, May 1996
- /PAF95/ "Programme for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing (PAFT) Toxicology Summaries," PAFT, Washington, DC, USA, September 1995
- /PAF96/ "Testing to Extremes — Industry's Cooperative Effort to Test the Health and Safety of Selected Fluorocarbon Alternatives to CFCs," Programme for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing (PAFT), Washington, DC, USA, circa 1996
- /Pai91/ C. Pais and R. L. Webb, "Literature Survey of Pool Boiling on Enhanced Surfaces," technical paper 3444 (392-RP), *Transactions* (Winter Meeting, New York, NY, USA, 19-23 January 1991), American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA, 97(1):79-89, 1991
- /Pap09/ S. Papasavva, D. J. Luecken, R. L. Waterland, K. N. Taddonio, and S. O. Andersen, "Estimated 2017 Refrigerant Emissions of 2,3,3,3-tetrafluoropropene (HFC-1234yf) in the United States Resulting from Automobile Air Conditioning," *Environmental Science and Technology*, 43(24):9252–9259, 2009
- /Pru83/ K. M. Pruet, "Compass Corrosion Guide (Guide to Chemical Resistance of Metals and Engineering Plastics)," Compass Publications, La Jolla, CA, USA, 1983
- /Pru94/ K. M. Pruet, "Chemical Resistance Guide for Elastomers II," Compass Publications, La Mesa, CA, USA, 1994
- /Pru95/ K. M. Pruet, "Chemical Resistance Guide for Metals and Alloys," Compass Publications, La Mesa, CA, USA, 1995
- /Ric92/ R. G. Richard and I. R. Shankland, "Flammability of Alternative Refrigerants," *ASHRAE Journal*, 34(4):20,22-24, April 1992
- /Ric10/ M. Richter, M. O. McLinden, and E. W. Lemmon, "Thermodynamic Properties of 2,3,3,3-Tetrafluoroprop-1-ene (R1234yf): p-rho-T Measurements and an Equation of State," *Journal of Chemical and Engineering Data*, in press, 2010
- /San96/ P. Sansalvadore, M. Zgliczynski, and F. Agricola, "Chemical-Physical Aspects in Refrigeration with Isobutane," *Applications for Natural Refrigerants* (proceedings of the IIR Conference — meeting of Commissions B1, B2, E1, and E2, Aarhus, Denmark, 3-6 September 1996), publication 1996-3, International Institute of Refrigeration (IIR), Paris, France, 615-622, 1996
- /Sek00/ A. Sekiya and S. Misaki, "Hydrofluoroethers as Alternatives to CFCs, HCFCs, HFCs, and PFCs," *Conference Proceedings of the Earth Technologies Forum* (Conference on Climate Change and Ozone Protection, Washington, DC, 30 October - 1 November 2000), International Climate Change Partnership and the Alliance for Responsible Atmospheric Policy, Arlington, VA, USA, 259-265, October 2000
- /Sin95/ A. Singh, M. M. Ohadi, S. Dessiatoun, and W. Chu, "In-Tube Boiling Heat Transfer

- Coefficients of R-123 and their Enhancement Using the EHD Technique,” *Journal of Enhanced Heat Transfer*, 2(3):209-217, 1995
- /Syr90/ Syracuse Research Corporation, “Toxicological Profile for Ammonia,” report TP-90-03, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Washington, DC, USA, December 1990
- /Tan09/ K. Tanaka, Y. Higashi, and R. Akasaka, “Measurements of the Isobaric Specific Heat Capacity and Density for HFO-1234yf in the Liquid State,” *Journal of Chemical and Engineering Data*, 55(2):901–903, 2010
- /Tan10/ K. Tanaka and Y. Higashi, “Thermodynamic properties of HFO-1234yf (2,3,3,3-tetrafluoropropene),” *International Journal of Refrigeration*, 33(3):474-479, May 2010
- /Tho98a/ J. R. Thome, “Boiling and Evaporation of Fluorocarbon and Other Refrigerants: A State-of-the-Art Review,” Air-Conditioning and Refrigeration Institute, Arlington, VA, USA, October 1998
- /Tho98b/ J. R. Thome, “Condensation of Fluorocarbon and Other Refrigerants: A State-of-the-Art Review,” Air-Conditioning and Refrigeration Institute, Arlington, VA, USA, October 1998
- /UNEP06/ “2006 Report of the Refrigeration, Air-Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee,” United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, Kenya, January 2007
- /UNEP09/ “Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer (Eighth Edition),” United Nations Environment Programme (UNEP), Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, 2009
- /UNEP10/ “Technology and Economic Assessment Panel 2010 Progress Report: Assessment of HCFCs and Environmentally Sound Alternatives and Scoping Study on Alternatives to HCFC Refrigerants under High Ambient Temperature Conditions,” Volume 1 (Decisions XXI-9 and XIX-8 Task Force Reports), United Nations Environment Programme (UNEP), Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, May 2010
- /Wie09/ M. E. Wieser and M. Berglund for the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) Commission on Atomic Weights and Isotopic Abundances, “Atomic Weights of the Elements 2007 (IUPAC Technical Report),” *Pure and Applied Chemistry*, 81(11): 2131-2156, November 2009
- /WMO10/ “Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010,” report 52, World Meteorological Organization (WMO), Global Ozone Research and Monitoring Project, Geneva, Switzerland; National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, USA; National Aeronautics and Space Administration (NASA), Washington, DC, USA; United Nations Environment Program (UNEP), Nairobi, Kenya; and the European Commission, Research Directorate General, Brussels, Belgium; January 2011 (revised printed version in press with expected publication in March 2011)

Capítulo 3:

Refrigeração doméstica

Autor Principal do Capítulo
Ed McInerney

Coautores
Martien Janssen
Paulo Vodianitskaia

3 Refrigeração doméstica

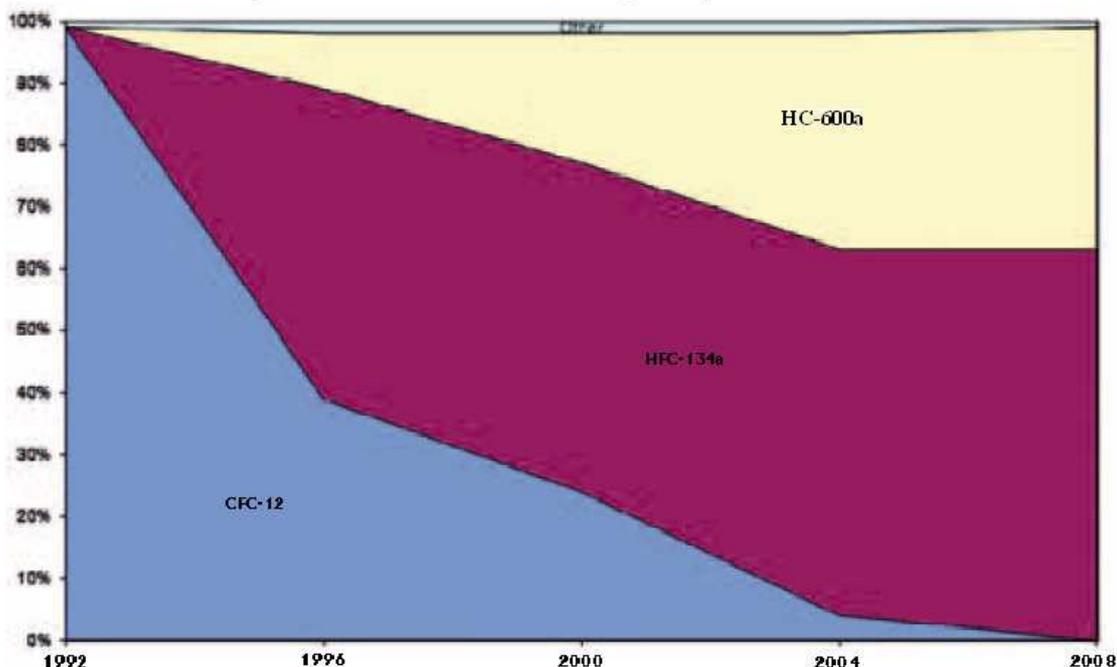
3.1 Introdução

Cerca de 100 milhões de refrigeradores e freezers domésticos são produzidos anualmente. A maioria é usada para armazenamento de alimentos em residências. Máquinas automáticas de bebidas representam uma pequena fração do total de unidades. Os volumes de armazenamento típicos variam de 20 a 850 litros/unidade. Várias abordagens fundamentais de design e características de conveniência do consumidor estão incluídas nas ofertas de produtos. Um produto típico contém um sistema de refrigeração montado na fábrica, hermeticamente selado, com tecnologia de compressão de vapor que emprega um motor de indução de 50-250 watt e contendo de 50 a 250 gramas de refrigerante. Produtos de nicho de mercado, em alguns casos, empregam tecnologias alternativas à refrigeração por compressão de vapor. A distribuição por idade dos produtos instalados em todo o mundo é extremamente ampla /Wes97/, com estimativas da idade média que variam de 9 a 19 anos no momento da retirada de serviço. Vida útil longa e alto volume de produção anual se combinam em um inventário estimado de 1.500 a 1.800 milhões de unidades instaladas no mundo todo.

3.2 Opções para novos equipamentos

HFC-134a ou HC-600a (isobutano) ainda são as opções para a produção de novas unidades de refrigeração doméstica. Nenhuma nova alternativa amadureceu de forma a se apresentar como novas oportunidades com eficiência energética e custos competitivos para esses produtos. A conversão das fábricas para produção de equipamentos novos ou originais com o uso de alternativas as SDO foi essencialmente concluída até 2008. A tendência de conversão e a escolha de refrigerante são mostradas graficamente na Figura 3-1. O uso de HC-290 em misturas com HC-600a foi incluído no uso de HC-600s na Figura e os dados não foram normalizados para serem independentes dos volumes de produção. Acredita-se que a conversão do refrigerante para HC-600a continuará, impulsionada pela conversão do uso de HFC-134a. Isso é discutido abaixo, na seção 3.2.1.1.

Fig. 3-1: Tendência de conversão de refrigerante por OEM



A conversão de serviços de campo para alternativas não SDO continua a atrasar a conversão de novos produtos. Isso é consequência da longa vida útil dos produtos e da ausência de substitutos *drop-in* para os refrigerantes utilizados nas unidades de produção anteriores à conversão ainda em uso.

Configurações futuras do produto incorporarão melhorias relacionadas à evolução da eficiência de energia. Estas influenciarão diretamente emissões relacionadas à energia. Abordagens de design para descarte ou reciclagem ambientalmente responsável de produtos no fim de sua vida útil também é um tema de crescente interesse.

3.2.1 Opções de refrigerante

Como afirmado anteriormente, o HFC-134a e o HC-600a ainda são as opções para a nova produção de refrigeração doméstica. Ao longo deste capítulo, as discussões sobre o HC-600a incluem tanto o HC-600a quanto misturas binárias de HC-600a e HC-290. Em situações em que os recursos de capital são limitados, o uso de misturas binárias de hidrocarbonetos permite igualar a capacidade volumétrica do CFC-12, utilizado anteriormente, a fim de evitar os investimentos necessários para modificar as ferramentas de fabricação de compressores.

Essas misturas resultam em uma pequena redução na eficiência termodinâmica em comparação com o HC-600a puro e pode haver migração para o uso de HC-600a puro conforme os fundos de capital se tornem disponíveis. Duas dinâmicas do setor são de interesse: (1) a transição de segunda geração para o uso de um refrigerante não SDO do HFC-134a para o HC-600a e (2) sugestões preliminares de fluorcarbonetos insaturados com baixo PAG para substituir o uso do HFC-134a. Misturas binárias de hidrocarbonetos podem também ser utilizadas na conversão de HFC-134a para fluidos refrigerantes hidrocarbonetos de forma a coincidir com a capacidade volumétrica dos compressores atualmente utilizados e evitar o investimento na produção.

3.2.1.1 Conversão para o uso de refrigerante não SDO do HFC-134a para o HC-600a

A produção europeia de refrigeradores em estilo americano começou a conversão do HFC-134a para o HC-600a no início de 2000. As conversões iniciais da produção de novos refrigeradores com degelo automático no Japão do HFC-134a para o HC-600a foram discutidas no relatório de 2006 deste comitê /UNEP06/. Estima-se que a conversão, motivada por considerações de aquecimento global, tenha progredido para incluir a maior parte da produção de novos refrigeradores no Japão.

Recentemente, um grande fabricante dos EUA anunciou sua intenção de introduzir refrigeradores com degelo automático que utilizam o refrigerante HC-600a no mercado dos EUA. Essa introdução representa um afastamento significativo das atuais práticas norte-americanas para refrigeração doméstica. As interpretações e modificações necessárias nos códigos e normas dos EUA para a ampla utilização do refrigerante HC-600a estão em andamento. A introdução comercial ocorreu em 2010. Ao mesmo tempo, o número de modelos de refrigerador baseados em HC oferecidos pelos fabricantes de países como Brasil também cresce.

A tendência de conversão para refrigerantes de hidrocarbonetos continuará na opinião dos autores. Excetuando qualquer influência de intervenção governamental reguladora, uma estimativa para o horizonte de dez anos é que 75% da produção de novos refrigeradores utilizará HC-600a enquanto 25% usará HFC-134a até 2020 /UNEP10/. Essa estimativa baseia-se nos seguintes pressupostos:

- Todas as atuais aplicações de HC-600A continuarão.
- Metade das aplicações de HFC-134a em áreas geográficas onde refrigeradores com convecção forçada e degelo automático são a configuração típica serão convertidas para HC-600a ou para uma mistura binária de hidrocarbonetos com a mesma capacidade volumétrica do HFC-134a.
- Três quartos das aplicações de HFC-134a em áreas geográficas onde refrigeradores com convecção natural e/ou degelo manual são a configuração típica serão convertidas para HC-600a ou para uma mistura binária de hidrocarbonetos.
- As conversões serão influenciadas pelo mercado regional ou por escolhas de políticas sobre mudanças climáticas. A influência de regulamentos governamentais não foi considerada.
- A substituição ocorrerá em base de igualdade molar, ou seja, 100 gramas de HFC-134a serão substituídas por 57 gramas de HC-600a.

A tecnologia para realizar as conversões está prontamente disponível. A taxa e a extensão da conversão serão influenciadas pelo custo adicional do produto para manter sua segurança com a introdução de fluidos refrigerantes inflamáveis. Os custos adicionais são introduzidos por componentes elétricos modificados, aumento do uso de tensão reduzida para evitar formação de arco elétrico e quaisquer dispositivos de segurança redundantes especificados. Pressões de custos serão mais significativas sobre as ofertas de modelos com menores margens de lucro sujeitas a redução. Normalmente, isso ocorrerá com modelos mais simples e com menos recursos.

A conversão de refrigeradores instalados atualmente para refrigerantes com características diferentes pode ser problemática. A conversão não é recomendada sem supervisão e aprovação do fabricante original.

3.2.1.2 Consideração de refrigerantes fluorcarbonos insaturados com baixo PAG

Os fabricantes de produtos químicos desenvolveram compostos de HFCs insaturados com vida atmosférica curta para substituir o HFC-134a em aplicações de condicionamento de ar de automóveis. Esses fluorcarbonetos insaturados são produtos em desenvolvimento e a avaliação de uso em aplicações estacionárias já começou, mas não é realizada com alta prioridade. Uma avaliação preliminar e teórica é a de que o HFC-1234yf tem potencial para apresentar uma eficiência comparável à do HFC-134a em refrigeradores domésticos. Vários critérios de aplicação ainda não foram abordados: estabilidade térmica, compatibilidades químicas do sistema hermético, compatibilidades de fluidos de processo, vulnerabilidades de contaminação, etc. As expectativas de confiabilidade em longo prazo para uso em refrigeração doméstica são significativamente mais exigentes do que as de aplicações automotivas. Muitas novas informações são necessárias antes que este refrigerante possa ser estabelecido como um candidato alternativo viável. No entanto, o PAG baixo e a inflamabilidade reduzida em comparação com o HC-600a justificam uma atenção continuada.

3.2.2 Tecnologias alternativas *not-in-kind*

Tecnologias de refrigeração alternativas continuam a ser buscadas para aplicações com necessidades específicas, como ruído muito baixo, portabilidade ou falta de acesso a rede de distribuição de energia elétrica. Tecnologias de interesse incluem ciclo Stirling, ciclos de absorção e adsorção, tecnologia termelétrica, magnética e CO₂ transcrito. Na ausência de necessidades especiais como os exemplos citados acima, nenhuma tecnologia identificada é competitiva em termos de custo ou eficiência com a tecnologia de compressão de vapor convencional para a produção em massa de equipamentos domésticos de refrigeração. Equipamentos de refrigeração por absorção são utilizados há muitos anos em unidades de minibar de hotel, devido a seus baixos níveis de ruído, e para aplicações móveis sem rede elétrica, como *motorhomes* ou casas móveis. As tecnologias termelétrica ou de ciclo Stirling são usadas para recipientes refrigerados portáteis em aplicações como transporte médico. Tecnologia de ciclo Stirling com CO₂ transcrito está desenvolvida e disponível para uso em quantidade limitada em aplicações como máquinas de venda automática de bebidas. Essa tecnologia não é considerada uma candidata lógica para refrigeração doméstica em função de requisitos de volume de sucção muito baixos para o compressor, de redução na eficiência térmica e do custo mais elevado do sistema em comparação com o atual /Bee08/. A refrigeração magnética é considerada um tema em desenvolvimento conceitual e é prematuro considerá-la uma alternativa viável. As outras áreas de produtos de nicho especializadas mencionadas exigem elevados investimentos de capital para estabelecer capacidade de produção em massa. Essas tecnologias de produtos não serão discutidas neste relatório, que enfatiza opções para mercados de produção em massa.

3.2.3 Tecnologias de melhoria da eficiência energética de produtos

A eficiência energética de produtos de refrigeração doméstica é um tema que atrai cada vez mais interesse do consumidor e de agências reguladoras. A eficiência energética fornece ligação direta com o aquecimento global através da energia consumida durante a vida útil do produto. Uma discussão mais ampla das opções de melhoria da eficiência foi incluída no relatório de 2002 deste comitê /UNE02/. Comentários adicionais podem ser encontrados em relatórios nos estudos da

Diretiva de Eco-Design /Eco06/. Esses estudos forneceram o contexto utilizado para atualizar os padrões mínimos europeus de eficiência energética /EU09/.

Opções tecnológicas significativas para melhorar a eficiência energética de produtos já demonstraram viabilidade para a produção em massa e confiabilidade robusta em longo prazo. Programas de regulamentação de eficiência energética obrigatórios e voluntários estimularam esforços de desenvolvimento de eficiência de produtos na indústria. Diferentes procedimentos de teste têm a intenção de prever o consumo de energia do consumidor. Embora atividades de normalização com vista a um protocolo de teste universal estejam em andamento /IEC59M/, atualmente, cada procedimento de teste é único e os resultados de um nunca devem ser diretamente comparados aos resultados de outro. Uma série de opções de design aperfeiçoadas para eficiência de energia estão plenamente desenvolvidas, e melhorias futuras dessas opções devem apresentar evoluções. Exemplos dessas opções incluem compressores eficientes, trocadores de calor de alta eficiência, a melhoria das estruturas de gabinete e juntas para baixa perda térmica e processos de fabricação menos variáveis. Sua extensão para toda a refrigeração doméstica mundial traria vantagens significativas, mas é geralmente limitada pela disponibilidade de fundos de capital. Do mesmo modo, a renovação das ferramentas de instalações de fabricação de compressores permitiria a recuperação das pequenas perdas de eficiência decorrentes do uso de misturas de HC-600a/HC290 em vez do HC-600a puro.

Opções de design com menos justificativa econômica às vezes são introduzidas em modelos de alto custo que recebem subsídios de incentivo. Isso proporciona a oportunidade de amadurecer novas tecnologias de eficiência e avançá-las por suas próprias curvas de custo/experiência. Isso aumenta a probabilidade de migração das tecnologias de eficiência para segmentos de linhas de modelagem com maior sensibilidade de custo. As opções que atualmente têm aplicação limitada ou recém-introduzida incluem compressores de velocidade variável, controles inteligentes; reconfigurações de sistema, tais como evaporadores duplos, sistemas de isolamento avançados e iniciativas de Gestão da Demanda (DSM) que exigem a comunicação interativa com fornecedores de energia. O custo adicional dessas opções atualmente restringe sua aplicação a modelos de ponta e restringe sua proliferação para uso geral.

- Compressores de capacidade variável evitam perdas cíclicas e perdas inerciais através da modulação da capacidade e da velocidade do compressor. O uso de um ímã permanente de maior eficiência ou de motores lineares também é proporcionado por controles eletrônicos de comutação.
- Controles inteligentes e adaptáveis permitem algoritmos de controle de variáveis que evitam a otimização para as piores condições, raramente experimentadas.
- Evaporadores duplos paralelos podem melhorar a eficiência teórica de Carnot através da redução efetiva das razões de pressão necessárias do evaporador de temperatura mais elevada. Controles de sistema com boa relação custo-benefício, confiáveis e estáveis precisam ser comprovados.
- Conceitos avançados de painel de isolamento a vácuo foram seletivamente usados por vários anos no Japão, na Europa Ocidental e nos Estados Unidos. Seu custo adicional limitou a extensão para uso geral.
- Iniciativas de gerenciamento de carga de linhas de energia reduzem as cargas de pico demandadas de empresas fornecedoras de serviços de energia. Incorporações prematuras geraram perda intermitente de função do produto e resultaram em insatisfação por parte do consumidor. Desenvolvimentos mais recentes fornecem restrição de recursos ou redução de capacidade do produto acionada pelo equipamento.

3.3 Opções para equipamentos existentes

A conversão do serviço para refrigerantes não SDO atrasou significativamente a conversão de equipamentos originais. O caráter distribuído, com proprietários individuais, do setor de serviços oferece resistência a esforços coordenados para a conversão de refrigerantes SDO. Procedimentos de serviço de campo normalmente usam os refrigerantes especificados originalmente. Misturas de refrigerantes desenvolvidas especificamente para uso como alternativas *drop-in* de serviço tiveram sucesso limitado. Sua aceitação foi boa em regiões com regulamentos de serviço obrigatórios que promovem seu uso. A escolha da mistura parece estar mais relacionada à força de distribuição do provedor do que ao desempenho técnico. O leitor interessado pode consultar o relatório de 1998 deste comitê para obter uma discussão ampliada sobre as opções de reparo em campo e conversão /UNEP98/. O Capítulo 2 deste relatório contém uma lista atualizada de opções de mistura de refrigerantes.

Os países não incluídos no Artigo 5 concluíram a conversão para o uso de refrigerantes não SDO na produção de novos equipamentos há aproximadamente 15 anos. Os últimos produtos fabricados com SDO se aproximam agora ao fim de seu ciclo de vida, transformando a questão em um problema de fim de vida nesses países. Em países do Artigo 5, a demanda por refrigerantes SDO para manutenção deve permanecer forte por mais de 10 anos, como resultado de sua conversão posterior para refrigerantes não SDO. Recursos de capital limitados também favorecem a reconstrução das opções de manutenção em vez da substituição por novos equipamentos. Recursos de capital limitados também favorecem a reconstrução das opções de manutenção em vez da substituição por novos equipamentos. Isso atrasa ainda mais a instalação de novas unidades de produção que empregam refrigerantes não SDO. A reconstrução de produtos tem como consequência anular a oportunidade de melhorar significativamente a eficiência energética dos produtos e de reduzir a pressão sobre a rede de distribuição de energia. A menos que haja intervenção do governo, a demanda por refrigerante CFC-12 para manutenção deve continuar para produtos antigos.

3.3.1 Conversão *drop-in* para produtos em uso

A conversão *drop-in* das unidades atualmente em serviço para refrigerantes alternativos é limitada. Considerações de segurança do consumidor exigem que todo potencial de acúmulo de líquido inflamável dentro de um volume fechado evite, dentro desse volume, o potencial de faísca elétrica, arco elétrico ou de temperatura da superfície acima da temperatura de autoignição do gás que vaza para o ar. O grau de modificação do produto em serviço necessário para assegurar isso depende da configuração original do produto. O fabricante do equipamento original está mais familiarizado com a construção do produto e deve ser consultado a respeito das modificações exigidas antes da decisão de prosseguir.

- Construções com evaporador Cold Wall exigem que o refrigerante que vaza se disperse através dos espaços internos ou flua por convecção por aberturas nesses espaços de modo a acumular-se dentro do volume refrigerado. Existe uma probabilidade muito baixa de acumulação de gás significativa. Além disso, os componentes elétricos situados dentro do volume refrigerado são limitados e, por conseguinte, há probabilidade baixa de uma fonte de ignição no interior do volume fechado. Alguns dizem que a conversão *drop-in* econômica dessa configuração é viável, mas uma definição de procedimento por parte do fabricante original deve ser buscada antes da decisão de realizá-la.
- Evaporadores de parede fina (Thin Wall) posicionados dentro do volume resfriado são uma construção comum para refrigeradores com degelo automático. Vazamentos de fluido refrigerante podem se acumular dentro do volume resfriado e o risco de ignição depende da taxa de vazamento ser suficiente para resultar em uma mistura de combustível dentro do volume resfriado. Além disso, componentes elétricos são comumente localizados dentro do volume refrigerado – termostatos, ventiladores, aquecedores para degelo, luzes, máquinas de fazer gelo, etc. –, gerando uma probabilidade elevada de presença de fonte de ignição. A viabilidade de uma conversão *drop-in* dependerá do grau de modificação da construção original necessário para alcançar uma configuração aceitável.

Mais uma vez, a definição do procedimento de conversão pelo fabricante original é prudente e deve ser buscada antes da decisão.

3.4 Conservação em fim de vida e questões de contenção

Refrigeradores domésticos contêm normalmente 50 a 250 gramas de refrigerante. A pequena carga por unidade e a localização geograficamente dispersas dessas unidades cria obstáculos para oportunidades comerciais de promover iniciativas de recuperação e reciclagem para gerenciar emissões de unidades descartadas. Regulamentações obrigatórias de manipulação de refrigerantes em fim de vida já existem em muitos países há vários anos. O Capítulo 11 deste relatório trata dessas regulamentações e de abordagens de conservação relacionadas.

3.5 Uso atual de refrigerante

Não há relatórios dos dados de demanda anual de refrigerante para refrigeração doméstica, mas esta pode ser estimada com base em pressupostos razoáveis. Os dados necessários são: histórico de quantidades de unidades produzidas anualmente, refrigerante original especificado para o equipamento e informações de quantidade de carga. A demanda anual por refrigerante para a produção de novos equipamentos foi calculada usando essas informações e é resumida na Tabela 3-1. As estimativas de demanda por refrigerante para serviço de campo são significativamente menos precisas e, por isso, não foram incluídas.

3.5.1 Produção de novos equipamentos

A conversão da fabricação de equipamentos originais para refrigeração doméstica para refrigerantes não SDO está resumida na Tabela 3-1. A transição para fluidos refrigerantes não SDO na fabricação de equipamentos originais está essencialmente concluída. Da produção atual, 63% utiliza HFC-134a, 36% usa HC-600a ou uma mistura de HC-600a/HC-290 e 1% utiliza outros refrigerantes, principalmente HCFC-22 ou HFC-152a.

Tabela 3-1 Produção estimada de refrigeradores e freezers domésticos por tipo de refrigerante de 1992 a 2008

Região do mundo	Ano	Produção de novas unidades					Uso de refrigerante em novas unidades, Toneladas				
		CFC12	HFC134a	HC600a ¹	Outro ²	Tota I	CFC12	HFC134a	HC600a ¹	Outro ²	TOTAL
Europa Ocidental	1992	16,3				16,3	2280				2280
	1996		11,2	6,1		17,3		1220	410		1630
	2000		8,2	11,3		19,5		890	760		1650
	2004		3,5	16,4		19,9		380	1080		1480
	2008		3,6	19,2		22,8		390	1260		1650
Europa Oriental	1992	7,5				7,5	1500				1500
	1996	2,8	3,2			6,0	320	370			690
	2000	0,7	2,1	0,3	0,1	3,2	140	260	30	20	450
	2004		1,7	2,6		4,3		210	210		420
	2008		3,3	5,0		8,3		410	400		810
América do Norte	1992	11,6				11,6	1750				1750
	1996		12,5			12,5		2290			2290
	2000		13,6			13,6		2420			2420
	2004		17,1			17,1		3150			3150
	2008		16,1			16,1		2970			2970
América Central e do Sul	1992	4,0				4,0	600				600
	1996	8,2				8,2	1280				1280
	2000	1,4	6,1			7,5	230	1360			1590
	2004		8,4			8,4		1850			1850
	2008		12,6			12,6		2640	140		2780
Ásia & Oceania	1992	18,7			0,5	19,2	3160			80	3240
	1996	14,0	9,5	0,2	1,6	25,1	2270	1520	20	200	4010
	2000	9,7	9,2	4,4	1,2	24,5	1570	1470	440	150	3630
	2004	2,2	15,7	8,3	1,5	27,7	360	2530	830	190	3910
	2008		25,9	12,9	1,5	40,3		4170	1290	190	5650
África & Oriente Médio	1992	5,2				5,2	840				840
	1996	3,4	0,7			4,1	590	120			710
	2000	2,8	0,9			3,7	490	150			640
	2004	0,8	3,8			4,6	140	640			780
	2008		4,3			4,3		880			880
Totais mundiais	1992	63,3			0,5	63,8	10130			80	10210
	1996	28,4	37,1	6,3	1,6	73,4	4460	5520	430	200	10610
	2000	14,6	40,1	16,0	1,3	72,0	2450	6550	1230	170	10400
	2004	3,0	50,2	27,3	1,5	82,0	500	8760	2120	190	11570
	2008		65,8	37,1	1,5	104,4		11460	3090	190	14740

Notas de rodapé: ¹ Inclui misturas de HC-600a + HC-290 ² HCFC-22 e HFC-152a

3.5.2 Serviço de campo

Não há dados disponíveis para prever razoavelmente a demanda global por refrigerante para serviços de campo. Estimativas de primeira ordem com taxas de serviço presumidas a partir de fontes da indústria de serviços sugerem uma demanda total anual de 3 a 5 mil toneladas. Estima-se que aproximadamente metade da procura seja por refrigerantes SDO para a manutenção de produtos antigos em campo. O restante da procura deve ser por refrigerantes não SDO usados para a manutenção de produtos fabricados depois das conversões de produção de novos equipamentos. A demanda por refrigerante para manutenção de novos produtos será proporcional às várias demandas por refrigerante de novos produtos.

Como mencionado acima, a transição de refrigerantes SDO em países não incluídos no Artigo 5 foi concluída há mais de 15 anos. A procura por refrigerantes SDO para serviço nesses países diminuiu significativamente, uma vez que o tempo decorrido após a conversão é comparável à extensão típica da vida útil dos produtos. A limitada demanda residual por refrigerantes SDO para serviço é suprida com refrigerantes recuperados e reciclados. Refrigerantes de serviço constituídos por misturas (*blends*) são usadas quando a oferta do refrigerante SDO reciclado adequado não está disponível ou quando regulamentos impedem o uso de SDO. A maioria restante da demanda de serviço é por refrigerantes não SDO para a manutenção de produtos fabricados após a transição de refrigerantes SDO. Essa demanda é suprida com refrigerantes recém-fabricados.

A conversão da produção de novos equipamentos para refrigerantes não SDO em países do Artigo 5 ocorreu em um período de dois a quinze anos atrás. Essa conversão posterior estende a questão da transição de serviço nesses países. A demanda por refrigerantes de serviço deverá continuar para os refrigerantes originalmente especificados: CFC-12 para produtos antigos e HFC-134a ou HC-600a e HC-290 para novos produtos. A demanda por CFC-12 para manutenção de produtos continuará a ser forte por mais uma década e diminuirá ao longo da década seguinte. Refrigerantes SDO serão usados enquanto estiverem disponíveis e forem uma opção economicamente interessante. A natureza dispersa e não coordenada do setor de serviços limita as oportunidades para desenvolver um

fluxo de fornecimento eficaz de recuperação e reciclagem. Regulamentos de serviço obrigatórios podem promover o uso de refrigerantes de substituição *drop-in* e reduzir as emissões de refrigerantes SDO.

3.5.3 Implicações para a futura demanda por refrigerantes

A demanda por refrigerante para uso na refrigeração doméstica deverá continuar a crescer lentamente, impulsionada pelo aumento da saturação do produto em países do Artigo 5 e pelo crescente número de unidades habitacionais no mundo. Acredita-se que dois fatores irão alterar a escolha de refrigerante e influenciar demandas relativas. Além disso, há sempre a possibilidade remota de novos desenvolvimentos modificarem a demanda de forma descontínua.

A migração de segunda geração para refrigerantes não SDO do HFC-134a para o HC-600a na fabricação de novos produtos ocorre como resultado da diferença de PAG entre as duas alternativas. Essa migração começou no Japão há vários anos e foi recentemente introduzida em caráter limitado nos Estados Unidos. Nenhuma nova tecnologia é necessária e a tendência provavelmente irá se disseminar. A taxa e o grau de proliferação serão influenciados pelo custo relativo para produtos com HFC-134a e HFC-600a. As estimativas atuais indicam a existência de custo adicional de mudanças no projeto para permitir o uso de refrigerantes inflamáveis em refrigeradores com degelo automático. Isso sugere que a migração voluntária em todas as linhas de produtos não é provável em países com alta frequência de litígios.

A conversão de segunda geração de misturas de HC-600a/HC-290 para HC-600a puro poderia ser resultado do desejo por melhorias na eficiência energética dos produtos. Nenhuma nova tecnologia seria necessária. As diferenças de eficiência são pequenas e controversas. Estímulos de eficiência econômica ou de energia por si só podem não ser suficientes para justificar a conversão. A simplificação do método de carga e a padronização de componentes do compressor para uso de hidrocarbonetos são oportunidades de benefícios adicionais.

As implicações integradas do histórico de demanda por refrigerantes encontram-se resumidas na discussão do banco de refrigerantes no Anexo deste relatório /Pal03, Clo06, CEP09/. A atualização de 2006 desses dados continua a demonstrar o crescimento do banco de refrigerantes na refrigeração doméstica. Os dados indicam uma taxa de crescimento típica de 11% a cada 3 anos para o banco em países do Artigo 5 e uma taxa de crescimento típica de 3% a cada 3 anos em países não incluídos no Artigo 5. O banco agregado de refrigerante doméstico em 2006 foi estimado em 153.000 toneladas: 40% de CFC-12, 54% de HFC-134a e 6% de HC-600a. Aproximadamente 53% do banco encontra-se em países do Artigo 5 e 47% encontra-se em países não incluídos no Artigo 5. A composição do banco reflete o crescimento de refrigerantes HFC e HC e o declínio de refrigerantes CFC, o que condiz com a substituição de refrigerantes CFC por refrigerantes não SDO. Aproximadamente 71% dos CFCs residuais no banco encontram-se nos países do Artigo 5.

3.5.4 Implicações para a futura emissão de refrigerantes

As emissões agregadas de refrigerante doméstico em 2006, incluindo emissões de fim de vida, foi estimada em 9.619 toneladas, ou 6,8% do banco total de refrigerante doméstico. As emissões foram de 77% de CFC-12, 21% de HFC-134a e 2% de HC-600a. Uma vez que a transição do uso de CFC-12 na produção de novos equipamentos está completa, quase todas as emissões de CFC são provenientes do banco existente em refrigeradores antigos. A distribuição geográfica dessas emissões penderá para os países do Artigo 5, pois estes detêm a maior parte do banco /CEP09/, têm maiores taxas de conserto de equipamentos /UNEP98/ e têm produtos com maior vida útil /CEP09/.

A tendência das emissões para alternativas não SDO do banco de refrigerante é altamente enfraquecida. Essa resposta lenta resulta da base de 1.500 a 1.800 milhões de unidades instaladas e da longa vida útil dos produtos. Os sistemas de refrigerante são hermeticamente selados durante a fabricação e a maioria dessas unidades nunca exige manutenção do sistema selado. Essa confiabilidade intrínseca resulta no fato de que as emissões são originadas preponderantemente pelo descarte em fim de vida. Isso sugere que o gerenciamento das potenciais emissões de CFC-12 de refrigeradores antigos pode ser a maior oportunidade para evitar emissões no setor de refrigeração doméstica.

3.6 Referências

- /Bee08/ M. van Beek and M. Janssen, "R-744 compared to R-290 in small freezer applications," 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Copenhagen, 2008.
- /CEP09/ Domestic refrigeration refrigerant bank updated data through 2006. Authors, CEP, Ecole des Mines, December 2009.
- /Eur01/ Euromonitor International Inc. "Global Appliance Information System," February 2009, <http://www.euromonitor.com>.
- /Eco06/ Eco-design requirements of EuP. Domestic Refrigerator and Freezer Directive Studies, July 2006, <http://www.ecocold-domestic.org>.
- /EU09/ European Commission regulation (IEC) No. 643/2009 of 22 July 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for household refrigerating appliances.
- /IEC59M/ "Performance of electrical household and similar cooling and freezing appliances."
- /SAE08/ SAE CRP1234, "Industry Evaluation of Low Global Warming Potential Refrigerant HFO1234yf," (December 2008).
- /Tur07/ 2nd International Workshop on Mobile Air Conditioning and Auxiliary Systems, Torino, Italy, "HFO-1234yf: A Low GWP Refrigerant for MAC," (November 2007).
- /UNEP98/ UNEP 1998 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee, Chapter 3, Domestic Refrigeration (1998 Assessment).
- /UNEP02/ UNEP 2002 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee, Chapter 3, Domestic Refrigeration (2002 Assessment).
- UNEP06/ UNEP 2006 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee, Chapter 3, Domestic Refrigeration (2006 Assessment).
- /UNEP10/ UNEP Technology and Economic Assessment Panel Task Force Decision XXI/9 Report, "Assessment of HCFC's and Environmentally Sound Alternatives Paragraph 2C," (May 2010).
- /Wes97/ Roy W. Weston Inc., Recycling Rate Determinant Study – Phase 1 Report, Norcross, Georgia (1997).

Capítulo 4

Refrigeração comercial

Autor Principal do Capítulo

Denis Clodic

Coautores

Michael Kauffeld

Peter Nekså

Per-Henrik Pedersen

Roberto Peixoto

Refrigeração comercial

4.1 Introdução

A refrigeração comercial é caracterizada pelo armazenamento e exposição de alimentos e bebidas em diferentes níveis de temperatura em ambientes de varejo. As capacidades de refrigeração dos equipamentos variam de algumas centenas de watts a 1,5 MW. As escolhas de refrigerante ocorrem em função dos dois principais níveis de temperatura necessários para a conservação de alimentos frescos e bebidas, de um lado, e de alimentos congelados, de outro. Quanto mais compacto do equipamento, melhor a contenção do refrigerante. Os sistemas centralizados usados em grandes supermercados são os que geram mais emissões devido ao grande número de juntas, válvulas de expansão e a possíveis falhas devido ao retorno de óleo, corrosão e vibrações. O HCFC-22 ainda representa o maior banco de refrigerante na refrigeração comercial e é usado em todos os níveis de temperatura. Pesquisas e testes de campo foram realizados com o objetivo de definir novas opções técnicas para a utilização de refrigerantes com PDO zero e PAG baixo, para manter pelo menos a mesma eficiência energética para os novos sistemas, para melhorar sua estanqueidade e para diminuir as cargas de refrigerante.

4.2 Aplicação

4.2.1 Equipamentos e sistemas

A refrigeração comercial é composta por três categorias principais de equipamento: equipamento autônomo, unidades condensadoras e sistemas de supermercado.

Os equipamentos autônomos são sistemas de refrigeração em que todos os componentes são integrados e, para os menores tipos, o circuito de refrigeração é inteiramente brasado ou soldado. Equipamentos autônomos, incluindo freezers, máquinas automáticas de venda e resfriadores de bebidas, são amplamente utilizados em muitos países do Artigo 5.

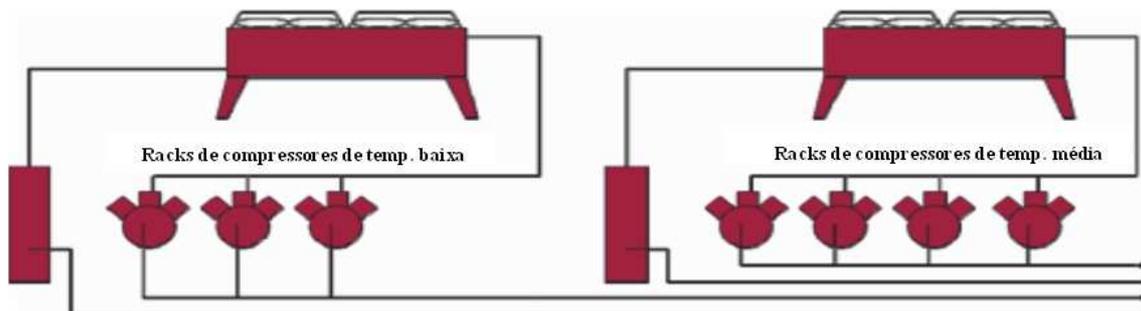
Para os países em desenvolvimento, equipamentos de refrigeração doméstica, refrigeradores e freezers podem ser encontrados em lojas pequenas e são usados para fins comerciais. Os equipamentos autônomos emitem sua carga de refrigerante, principalmente no fim de vida, quando da retirada de uso, se não há políticas de recuperação rigorosas em vigor ou aplicadas.

Unidades condensadoras apresentam capacidades de refrigeração que variam tipicamente de 1 kW a 20 kW, são compostas de um (ou dois) compressor(es), um condensador, e um receptor montado em uma "unidade de condensação", que está localizada fora da área de vendas. O equipamento de refrigeração é composto por um ou mais compartimentos de exposição na área de vendas e/ou uma pequena câmara fria. As unidades condensadoras são normalmente instaladas em lojas especializadas, como padarias, açougues e lojas de conveniência. Em alguns pequenos supermercados, é possível encontrar um grande número de unidades condensadoras (tipicamente até 20) instaladas lado a lado em uma sala de máquinas pequena. Na maior parte dos países do Artigo 5, a utilização de sistemas que empregam unidades de condensação é muito ampla. As taxas anuais de emissão são estimadas entre 7 e 12%.

Sistemas centralizados são a opção preferida em supermercados. Eles operam com *racks* de compressores instalados em uma sala de máquinas (ver figura 4-1). Existem diversos *designs* possíveis. Duas principais opções de *design* são usadas: sistemas diretos e indiretos.

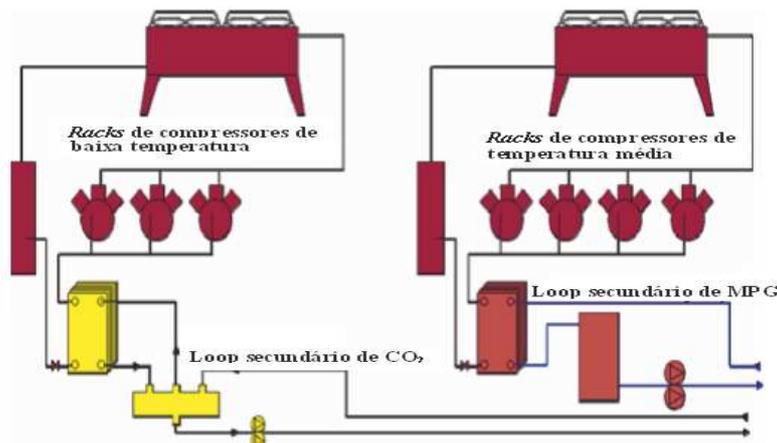
Os sistemas diretos são os mais difundidos. O refrigerante circula a partir da sala de máquinas para a área de vendas, onde evapora em trocadores de calor do compartimento de exposição e depois retorna na fase de vapor para a sucção nos *racks* de compressores. As câmaras frias de supermercados são resfriadas de forma semelhante.

Figura 4-1: Racks com vários compressores em salas de máquinas para compartimentos de exposição de temperatura média e baixa /Clo08/



Na sala de máquinas, *racks* com múltiplos compressores são instalados com linhas de aspiração e descarga comuns, e cada *rack* é geralmente associado a um condensador refrigerado a ar. *Racks* específicos são dedicados a baixa temperatura e outros a temperatura média. Cada circuito de refrigerante de cada *rack* é independente. Sistemas centralizados de supermercados com longos circuitos de tubulação necessitam de grandes cargas de refrigerante (100 a 3.000 kg, dependendo do tamanho do supermercado) e, conseqüentemente, levam a grandes perdas quando ocorrem rupturas. Algumas empresas comerciais estudaram /Ets07/ e tomaram medidas para limitar vazamentos de refrigerante; seus relatórios mostram como reduzir o nível de emissão anual de 25% para cerca de 12%. Assim, as taxas de emissão típicas de pequenos supermercados variam entre 15 e 25% e as de grandes supermercados ficam entre 20 e 35%. Esses valores representam, em geral, a situação em países não incluídos no Artigo 5. As taxas de emissão para a maioria dos países do Artigo 5 são muito mais elevadas.

Figura 4-2: Sistema indireto com MPG (monopropilenoglicol) em nível de temperatura média e R-744 em nível de temperatura baixa /Clo08/



Sistemas indiretos (ver Figura 4-2) são compostos por trocadores de calor principais, onde um fluido de transferência de calor – HTF (também chamado de refrigerante secundário) – é resfriado e bombeado para os expositores, onde absorve o calor e depois volta para o trocador de calor principal. Os HTFs foram alvo de grande interesse nos últimos anos, porque sistemas indiretos permitem uma carga menor de refrigerante principal e facilitam o uso de refrigerantes inflamáveis ou tóxicos quando isolados da área de vendas /Rhi09/. Outros *designs*, incluindo os chamados sistemas distribuídos e sistemas híbridos foram desenvolvidos (ver seção 4.5.3).

4.2.2 Dados sobre lojas e equipamentos autônomos

A refrigeração comercial abrange equipamentos instalados em hotéis, bares, restaurantes, postos de gasolina, plataformas ferroviárias, lojas especializadas (açougues, peixarias, lojas de *delicatessen*...), lojas de conveniências e supermercados. Os tamanhos das lojas dependem de

horários de atendimento, hábitos sociais, infraestrutura viária e tipo de ambiente. Em 2006, o número estimado de supermercados em todo o mundo foi de 280.000, abrangendo uma ampla variedade de áreas de vendas, com tamanhos de 400 m² a 20.000 m² (entre eles, 10.000 supermercados muito grandes, com áreas de vendas de alimentos entre 2.000 e 5.000 m²).

Observação: os dados disponíveis são provenientes de estudos de mercado, nos quais os tipos de estabelecimento são definidos de diferentes maneiras, dependendo do estudo. Os dados implicam incertezas no nível de equipamento de refrigeração, especialmente em países em rápido desenvolvimento.

Em 2006, o número estimado de minimercados em todo o mundo foi de 4 milhões, sendo que neles ocorre a maior parte do uso de unidades condensadoras. As unidades condensadoras também são usadas em muitas outras lojas; seu número é estimado em 34 milhões de unidades.

O número de lojas de varejo de alimentos foi estimado em 9,8 milhões e nelas se encontram equipamentos autônomos e até mesmo refrigeradores e freezers domésticos. Em 2006, as populações de máquinas automáticas de vendas e de outros equipamentos autônomos foram estimadas em 20,5 e 32 milhões de unidades, respectivamente.

Com base nesses dados, o banco de refrigerantes estimado, em 2006, tinha 340 mil MT e era distribuído da seguinte forma:

- 46% em sistemas centralizados;
- 47% em unidades condensadoras e
- 7% em equipamentos autônomos.

A divisão estimada dos refrigerantes por tipo é de cerca de 15% de CFCs que ainda estão em uso nos países do Artigo 5, 62% de HCFCs como banco de refrigerante dominante e ainda por muitos anos e 23% de HFCs que foram introduzidos em novos equipamentos na Europa e no Japão a partir de 2000.

Observação: em 2006, os HCs introduzidos principalmente em equipamentos autônomos não eram visíveis no banco de refrigerantes.

4.3 Opções para novos equipamentos

Complementando as informações sobre opções de refrigerante, questões sobre conservação de energia e eficiência energética serão sucintamente abordadas, a fim de sublinhar as possíveis vantagens e desvantagens de diferentes escolhas de refrigerante no que diz respeito à eficiência energética.

4.3.1 Equipamentos autônomos

As principais famílias de equipamentos autônomos são: máquinas automáticas de vendas, máquinas de gelo, freezers para sorvete, bebedouros e compartimentos de exposição elétricos.

Parte dos equipamentos autônomos como adegas para resfriar vinhos, geladeiras e freezers de cozinha profissional e minibares de hotéis é baseada na mesma tecnologia que os refrigeradores e freezers domésticos. Consequentemente, as opções técnicas dessas séries de equipamentos são analisadas no Capítulo 3, e uma tendência semelhante de substituição do HFC-134a por hidrocarbonetos (HC) é observada. Porém, para equipamentos autônomos, o HC-290 é o refrigerante de escolha em vez do HC-600a.

Outros tipos de equipamento autônomo têm *design* específico: refrigeradores de água, máquinas de gelo, máquinas automáticas de vendas e compartimentos expositores e abrangem também vários níveis de temperatura.

Para alimentos e bebidas conservados a temperaturas que variam de 1°C a 10°C, o HFC-134a é o

refrigerante dominante, substituído por HC-600a e HC-290 em algumas famílias de equipamento em que geralmente a carga de refrigerante é menor do que 150 g para a maioria dos fabricantes, ainda que algumas marcas europeias comercializem equipamentos com carga de hidrocarbonetos até 1 kg e mesmo 2,5 kg, dependendo da regulamentação nacional. Para outras empresas, o R-744 é a escolha preferida de refrigerante.

Freezers para sorvete

Para freezers de sorvete, o R-404A, bem como o HFC-134a, são o padrão desde 1995; a transição do refrigerante HFC para o propano (HC-290) é constante. A vida útil dos equipamentos é de cerca de 10 anos. A número estimado de equipamentos instalados com uso de HC é de 500.000.

Bebedouros

Bebedouros, tanto para água mineral quanto para água de torneira são instalados em edifícios comerciais, supermercados, etc. Eles são instalados com um sistema de refrigeração com um pequeno compressor e até agora o HFC-134a é o refrigerante mais utilizado. A carga típica de HFC-134a é de cerca de 40 g. Algumas empresas estão introduzindo HC-600a, com carga de refrigerante de pode chegar a apenas 20 g e a cota de mercado desses sistemas de HC está crescendo. Estima-se que 25% dos equipamentos instalados em 2010 usavam HC-600a, considerando um tempo de vida útil de 10 anos e conhecendo as atuais políticas das grandes empresas mundiais.

Máquinas de gelo

Um grande número de máquinas de gelo está instalado em restaurantes, bares e hotéis. Diversos tamanhos estão disponíveis e as capacidades de refrigeração variam de 1 a 10 kW, com carga de refrigerante variando de algumas centenas de gramas a 1 kg. Políticas empresariais, bem como regulamentos nacionais, levam a diferentes escolhas de refrigerante: HFC-134a, hidrocarbonetos e possivelmente R-744. Até o momento, o HFC-134a é a escolha preponderante em todo o mundo.

Máquinas automáticas de vendas

A capacidade de resfriamento de máquinas automáticas de venda é de cerca de 600 W para o resfriamento rápido de latas. O HFC-134a é o refrigerante padrão em máquinas de venda automática. Uma empresa global optou pelo R-744 como refrigerante. Esse novo sistema com R-744 está instalado em um *cassete plug-in/pull-out* e sua eficiência energética, tal como medida, é tão boa quanto à dos sistemas de referência com HFC até 32 °C de temperatura ambiente. Uma empresa global assumiu o compromisso de que todos os novos equipamentos serão livres de HFC a partir de 2015. Várias outras estão seguindo o mesmo caminho. Equipamentos com R-600a também foram desenvolvidos, mas sua aplicação é limitada a determinados estilos de construção. Máquinas automáticas de venda com R-744 e HC estão assumindo uma cota de mercado significativa no Japão. Uma OEM desenvolveu um protótipo de refrigeração Stirling *not-in-kind* para máquinas automáticas de venda. A eficiência energética do novo sistema foi melhor do que a linha de base de referência da compressão de vapor, mas o custo foi considerado alto demais pelas empresas clientes e, por isso, o sistema não chegou ao mercado.

Refrigeradores com porta de vidro

Refrigeradores de garrafas com porta de vidro podem ser encontrados em supermercados, lojas de conveniência, postos de gasolina, etc. O tipo mais comum é o de 400 litros com uma porta. Refrigeradores com porta de vidro são muitas vezes instalados por empresas de bebidas.

Atualmente, o HFC-134a é a escolha padrão. Desde o ano 2000, milhares de unidades foram instaladas na Europa utilizando principalmente HC-600a e, para algumas marcas, HC-290. Algumas empresas mundiais escolheram, por sua vez, sistemas com R-744 para seus refrigeradores de garrafas.

Expositores *plug-in*

O uso de expositores *plug-in* está em crescimento em supermercados de pequeno e médio porte. A escolha é feita porque expositores *plug-in* são mais baratos e mais flexíveis do que expositores remotos conectados a um sistema centralizado. Em países de clima quente e em geral durante a estação quente, o calor liberado pelo condensador de cada expositor *plug-in* na área de vendas precisa ser removido por um sistema de ar condicionado, que deve ser concebido com uma capacidade significativamente maior de refrigeração. Por outro lado, em climas mais frios, tais como no Norte da Europa, o calor emitido pelo condensador e pelo compressor é útil para aquecer o estabelecimento e pode ser considerado como recuperação de calor na estação fria. Até o momento, o refrigerante R-404A é a escolha padrão, e a carga por unidade varia de 220 g até 3 kg. Especialmente na Alemanha, no Reino Unido e nos países do Norte da Europa, expositores *plug-in* que usam HC-290 estão ganhando cota de mercado. Várias cadeias de supermercados alemães só compram expositores *plug-in* com HC /Rhi09/.

Houve conversão de instalações de produção do HCFC e do HFC para HC para equipamentos autônomos de refrigeração comercial em países do Artigo 5 para o mercado interno /GTZ09i/.

Em muitos países do Artigo 5, mesmo em grandes supermercados, expositores *plug-in* são preferidos em relação a expositores remotos conectados a um sistema centralizado. A evidente desvantagem é que expositores *plug-in* liberam todo o calor dentro da área de vendas e, por isso, o sistema de ar condicionado deve ser projetado para absorver essa carga de calor adicional ou a temperatura dentro do supermercado pode atingir valores muito elevados (acima de 30°C e, às vezes, acima de 40°C), levando a uma baixa capacidade de expositores *plug-in* manterem os produtos na temperatura certa. Além disso, a eficiência energética global de supermercados que usam expositores *plug-in* é baixa, devido ao fato de que a eficiência energética de pequenos compressores é inferior à de compressores de médio e grande porte.

Para todos os equipamentos autônomos, normas de conservação de energia podem ser e estão sendo publicadas ou revisadas, uma vez que testes de laboratório podem ser realizados para avaliar as capacidades de refrigeração e potência elétrica consumida, estabelecendo a eficiência energética do equipamento. A linha de base de consumo de energia pode ser estabelecida, análises de engenharia podem ser executadas e melhorias podem ser buscadas. Regulamentos e custos de eletricidade estimulam melhorias significativas em eficiência energética, sendo que, até o momento, o mercado é orientado pelos custos iniciais.

Estima-se que todos os refrigerantes em banco de equipamentos autônomos representem uma quantidade de cerca de 38.000 toneladas; os níveis de emissão, durante o tempo de vida útil são estimados entre 1 a 5%, dependendo da qualidade da manutenção, da corrosão e do manuseio diário das mercadorias. Devido ao circuito de refrigeração compacto, vazamentos no início do ciclo de vida do equipamento são bem contornados; o número de juntas é mínimo ou mesmo nulo (todo o circuito é brasado ou soldado). As questões críticas estão relacionadas à corrosão, ao uso diário dos equipamentos e à limpeza agressiva, que leva a possíveis rupturas de circuito. As emissões ocorrem essencialmente na retirada de uso em fim de vida.

Em resumo, o HFC-134a supre as limitações técnicas em termos de confiabilidade e desempenho energético para equipamentos autônomos. Em muitos países desenvolvidos, o PAG do HFC-134a é cada vez mais considerado proibitivo em relação às emissões de refrigerante, de modo que os refrigerantes HC e R-744 estão ganhando cotas de mercado significativas na Europa e no Japão. No futuro próximo, HFCs insaturados, como HFC-1234yf podem ser considerados uma opção, já que o *retrofit* de HFC-134a para este novo refrigerante deverá ser bastante simples, embora a confiabilidade de longo prazo ainda tenha de ser avaliada /See 10/.

4.3.2 Sistemas de unidades condensadoras

Unidades condensadoras são encontradas em muitas lojas de conveniências e lojas especializadas de alimentos para resfriamento de uma pequena câmara fria e de um ou vários expositores. A tecnologia pode ser considerada como uma tecnologia de produção em massa, com compressores geralmente herméticos, por vezes semi-herméticos. As unidades de condensação são uma opção

bem difundida nos países do Artigo 5. Mesmo em supermercados, especialmente em alguns países do Artigo 5, vários *racks* de unidades condensadoras são instalados lado a lado em salas de máquinas de pequeno porte. Unidades condensadoras são menos eficientes em termos energéticos, em comparação com pequenos sistemas centralizados bem projetados, mas são escolhidas por razões de custo inicial, facilidade de instalação e porque são encontradas prontas para instalar.

A capacidade de resfriamento varia de 1 a 20 kW, principalmente a temperaturas médias e a carga de refrigerante varia de 1 a 5 kg de HCFC ou HFC. O HCFC-22 ainda é o refrigerante mais usado nos EUA e em todos os países do Artigo 5. Novos equipamentos podem usar HFC-134a, HCFC-22, R-404A, R-407C, R-507, R-410a, outras misturas de HFC e HCFC, refrigerantes HC e R-744. HFC-134a, HCFC-22 e R-404A são os refrigerantes mais usados. Na Europa, devido a regulamentações da UE, uma transição de HCFC-22 para R-404A ou, às vezes, R-507A ocorreu a partir de 2000. O R-404A é a principal escolha também por razões de custo; as unidades de condensação que usam esse refrigerante são mais baratas que as unidades com a mesma capacidade de resfriamento que usam HFC-134a, em função de seu menor compressor. No entanto, em climas quentes e para aplicações de temperatura média, o HFC-134a é utilizado devido a seu melhor desempenho energético em altas temperaturas ambientes, quando comparado ao R-404A.

Unidades condensadoras são sempre concebidas como sistemas de expansão direta. Por isso, seus impactos ambientais estão relacionados a escolha de refrigerante e eficiência energética.

O que é descrito para equipamentos autônomos também é verificado para unidades condensadoras quando as unidades substituem compressores maiores. Como referido anteriormente, esta solução não é eficiente em termos de consumo de energia e é escolhida devido a razões de custo de investimento e à disponibilidade de unidades condensadora em todo o mundo. Além disso, essas unidades condensadoras também são produzidas em países do Artigo 5, evitando a importação de compressores de grande porte.

4.3.3 Sistemas de supermercado

Sistemas centralizados

Para grandes supermercados, o principal *design* é o chamado sistema centralizado, em que todos os *racks* de compressores são instalados em uma única sala de máquinas. Esse conceito levou à instalação de até vários quilômetros de tubulação, que levam refrigerante em fase líquida da sala de máquinas até a área de vendas e refrigerante em fase de vapor de volta da área de vendas para a sala de máquinas. O tamanho de sistemas centralizados pode variar de capacidades de refrigeração de cerca de 20 kW a mais de 1 MW dependendo do tamanho do supermercado.

As capacidades de refrigeração são geradas por *racks* independentes de compressores em dois níveis principais de temperatura de evaporação: -40/-35°C para alimentos congelados (e sorvetes) e -15/-10°C para alimentos frescos (carne, laticínios, etc.). *Racks* de baixa temperatura representam cerca de 10 a 30% das capacidades de refrigeração, de modo que os *racks* de temperatura média representam de 70 a 90% das capacidades totais de refrigeração. Em termos de consumo de energia, os *racks* de baixa temperatura consomem de 20 a 35% do consumo total de energia devido à baixa eficiência energética relacionada ao nível de temperatura. As cargas de refrigerante estão relacionadas com a capacidade de refrigeração e com o layout da loja. Para grandes supermercados (área de vendas de alimentos maior do que 3.000 m²) com sistemas centralizados de expansão direta, a carga de refrigerante varia de 800 kg a 2 toneladas. A recuperação de calor para aquecer a loja requer tipicamente uma válvula de 4 vias em cada circuito de condensação e também trocadores de calor dedicados, a fim de recuperar a capacidade de condensação durante a estação de calor; essa energia é geralmente liberada para o ambiente pelos condensadores resfriados a ar. Este projeto possível é popular em regiões frias dos EUA e em alguns países europeus. O circuito é mais complicado, a carga de refrigerante é pelo menos 20% maior. Essa opção técnica tem de ser estudada em termos de retorno sobre investimento, nível das emissões de refrigerante e manutenção. Para climas moderados e quentes a opção não é selecionada devido a sua maior complexidade e às necessidades de aquecimento baixas que

prejudicam o retorno do investimento.

Outros projetos mais simples são encontrados na Europa, especialmente nos países do norte, onde a água quente doméstica é produzida por dessuperaquecimento do refrigerante antes de entrar no condensador. Um novo *design* de sistema introduzido principalmente em pequenos supermercados integra o sistema de resfriamento/aquecimento da loja com o sistema de refrigeração, fornecendo um interessante exemplo de abordagem holística para a gestão de energia.

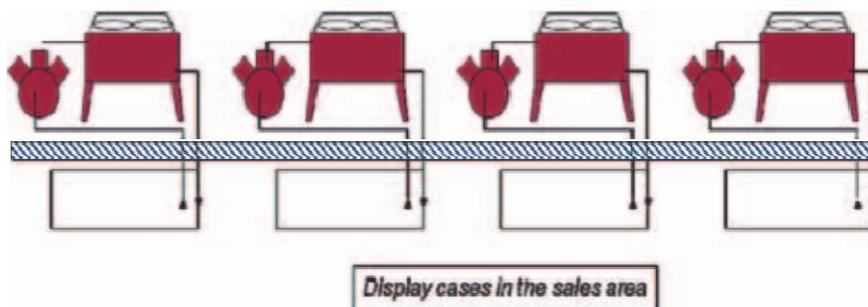
A fim de simplificar a manutenção no *design* centralizado atual, a maioria das empresas comerciais, exceto no Japão, decidiu utilizar o mesmo refrigerante para os dois níveis de temperatura. Essa escolha é discutível porque, por exemplo, o HFC-134a ou o R-407C e o R-717 são refrigerantes mais eficientes no nível médio de temperatura, em comparação com o R-404a. Pelo contrário, R-404A ou R-744 são os refrigerantes mais eficientes em baixo nível temperatura. Como sempre, o *design* do sistema define a eficiência energética efetiva e, por isso, podem ser encontrados *designs* eficientes com um refrigerante menos eficiente. No entanto, em termos de escolha de refrigerante, pode-se ter em mente que os refrigerantes poderiam ser diferentes para o nível médio da temperatura e para o nível baixo de temperatura, oferecendo um maior número de opções técnicas quando os impactos ambientais de refrigerantes têm de ser limitados.

Uma das consequências importantes de fazer escolhas separadas para fluidos refrigerantes dedicados a temperatura baixa e temperatura média é a de que o R-744 pode ser a escolha preferida no nível de baixa temperatura em um *design* em cascata enquanto a escolha para o nível médio de temperatura está em avaliação nos países desenvolvidos, dependendo do aquecimento global, dos custos e da facilidade de uso. Em paralelo com a avaliação dos refrigerantes, opções técnicas estão sendo desenvolvidas há quase 15 anos, a fim de diminuir a carga de refrigerante pelo desenvolvimento de sistemas indiretos e de sistemas distribuídos.

Sistemas distribuídos

Esta alternativa técnica é estudada e realizada desde o ano 2000. O conceito é instalar os compressores próximos aos expositores, dentro ou muito próximos da área de vendas.

Figura 4-3: Sistema distribuído em que um sistema de refrigeração compacto fornece refrigeração para uma série de expositores /Clo08/



Este *design* é mais prático para o layout típico dos EUA, onde a maioria dos expositores de temperatura média são instalados perto das paredes e não em corredores, como é habitual na Europa. O *design* de referência de sistema distribuído integra condensadores de água em uma caixa à prova de som com o(s) compressor(es). A água, utilizada como líquido de arrefecimento nos condensadores, é resfriada geralmente por trocadores de calor (*dry-coolers*) montados no telhado. A carga de refrigerante pode ser reduzida em mais de 50% e até 75%. Ao mesmo tempo, as taxas de vazamento são reduzidas devido ao menor número de juntas.

A eficiência energética de um sistema como esse deve ser cuidadosamente analisada. Ganhos de energia podem ser obtidos devido à enorme redução do comprimento da tubulação e, conseqüentemente, da redução nas perdas de pressão; porém, os compressores são menores e, por

isso, suas eficiências energéticas são geralmente mais baixas. Além disso, uma diferença de temperatura adicional é criada quando se utiliza condensadores arrefecidos com água, que liberam seu calor em trocadores de calor (*dry-coolers*). A complexidade da comparação entre a linha de base (sistema centralizado) e o novo sistema distribuído é aumentada quando se muda o refrigerante (HFC, HC, ou R-744 em comparação com R-22), de forma que uma ampla variedade de desempenhos pode ser encontrada na literatura técnica. Sistemas distribuídos ainda não são uma opção difundida e são principalmente instalados em novos supermercados dos Estados Unidos com refrigerantes HFC.

Deve-se observar que sistemas distribuídos indiretos foram desenvolvidos no Reino Unido. O sistema usa hidrocarboneto como refrigerante e um fluido de transferência de calor para transferir o calor dos expositores para o evaporador.

Sistemas indiretos

Sistemas indiretos representam uma parcela pequena do mercado de novas instalações e substituem os sistemas centralizados de expansão direta em supermercados. Esta opção foi desenvolvida na Europa a partir de 1995 e, inicialmente, teve uma expansão lenta. Deve-se observar que várias cadeias comerciais dos Estados Unidos decidiram, desde 2006, instalar sistemas indiretos. O condutor da mudança de sistemas usuais de expansão direta é a significativa redução das cargas de refrigerante (50 a 85%) e uma contenção de refrigerante muito melhor.

Dependendo do país, R-404A ou R-507, às vezes R-717, HCs (HC-290 ou HC-1270) e R-744 são usados como refrigerantes principais em sistemas de refrigeração inteiramente instalados na sala de máquinas. Devido ao elevado calor latente de vaporização e à baixa densidade do líquido, a carga de amônia (R-717) pode ser de 10% da carga habitual de refrigerante HFC. Tais sistemas podem ser instalados em salas de máquinas especiais com características de segurança que permitam elevadas taxas de ventilação em caso de vazamentos significativos.

O mesmo se aplica para refrigerantes HC com carga típica de 10% da carga de referência de sistemas diretos com HFC. Por razões de segurança, os circuitos de refrigeração são separados em vários circuitos independentes, limitando a carga de refrigerante de cada sistema /IPCC05/.

Muitos sistemas indiretos foram projetados, ainda usando R-404A como refrigerante principal na sala de máquinas; a redução da carga gera redução significativa do impacto ambiental.

Sistemas indiretos bem projetados podem ser tão eficientes quanto sistemas diretos bem projetados, devido à melhor troca de calor nas serpentinas de ar, mas fluidos de transferência de calor (HTF), tais como o monopropilenoglicol (MPG) utilizados em sistemas indiretos precisam de atenção especial, principalmente em baixas temperaturas, nas quais a potência de bombeamento pode ser excessiva. Existem HTFs alternativos com menor viscosidade a temperaturas baixas. Contudo, os sistemas indiretos são hoje construídos principalmente para a faixa de temperatura média. Além disso, as bombas têm de ser cuidadosamente escolhidas de modo a evitar consumo de energia adicional significativo.

Para os sistemas indiretos, o R-744 como HTF é usado principalmente em expositores de baixa temperatura e câmaras frias. O R-744 é parcialmente evaporado nos evaporadores dos expositores, volta em escoamento bifásico para o evaporador principal na sala de máquinas, onde o R-744 é totalmente condensado ou "liquefeito" e, em seguida, bombeado de volta para os expositores. Tal *design* tem boa eficiência energética porque não há zona de sobreaquecimento na saída de cada evaporador. A única ameaça para os sistemas indiretos que usam R-744 é a possível liberação de toda a carga de R-744 relacionada com uma falta de resfriamento devido a um incidente no sistema de refrigeração. A pressão do R-744 aumenta progressivamente com a falta de arrefecimento e é relacionada com a temperatura no circuito. Se a válvula de segurança é ajustada em cerca de 3 MPa (o usual), a abertura da válvula de segurança ocorrerá quando a temperatura da parte mais fria do sistema for de cerca de - 5°C, levando a uma liberação de R-744.

Mais comumente, os sistemas indiretos ligam todos os elementos de resfriamento uns aos outros, o que, no caso de uma falha significativa, leva a uma perda completa da refrigeração e à possível perda de alimentos. O atual sistema centralizado de *racks* múltiplos oferece a possibilidade de limitar o

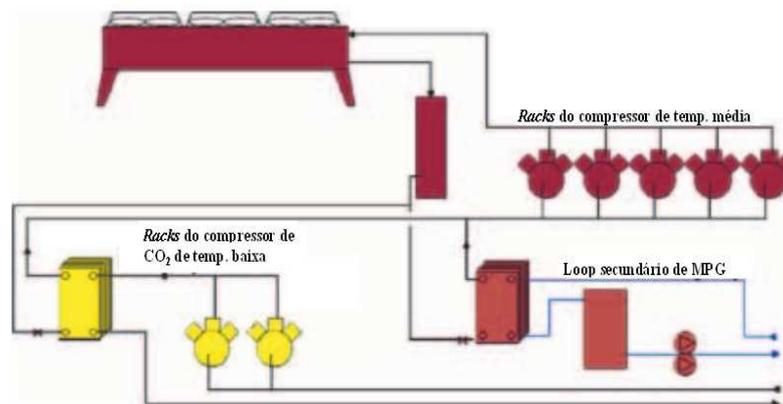
incidente a um único *rack*, permitindo que os outros proporcionem o resfriamento complementar durante o reparo. Regras especiais de limitação de carga levaram a um *design* similar de sistemas indiretos na Suécia. Ou seja, *racks* de sistemas de refrigeração individuais, todos resfriando o mesmo loop indireto. Até 20 *racks* tais são instalados em grandes supermercados suecos. Uma cadeia de lojas alemã anunciou que só comprará sistemas indiretos com hidrocarbonetos para seus novos supermercados.

Um inconveniente dos sistemas indiretos está relacionado com o isolamento necessário de toda a tubulação de modo a evitar a condensação de umidade e a formação de gelo. Válvulas e bombas podem apresentar dificuldades para o isolamento eficiente e podem tornar-se blocos de gelo com água escorrendo continuamente em torno dos blocos de gelo. Além disso, para HTF líquido usado no nível médio de temperatura, as quantidades são enormes, representando várias toneladas métricas, e possíveis vazamentos de HTF são difíceis de diagnosticar, especialmente em expositores. Todas essas lições aprendidas dos sistemas indiretos existentes devem se refletir em *designs* aprimorados.

Sistemas híbridos e em cascata

A combinação híbrida entre sistemas diretos e indiretos pode ser constatada nas ofertas técnicas atuais (um exemplo é mostrado na Figura 4-4) com custo adicional limitado, se houver.

Figura 4-4: Sistema híbrido que inclui um circuito em cascata de R-744 no nível baixo de temperatura e um sistema secundário no nível médio de temperatura /Clo08/



O R-744 não é mais HTF, mas um refrigerante usado em um sistema em cascata. O *design* global consiste em um *rack* de compressores de baixa temperatura com compressores de R-744 que funcionam entre uma pressão de evaporação de 1,2 MPa (temperatura de evaporação em torno de -35°C) e uma pressão de condensação de 2,5 MPa (temperatura de condensação de -12°C), eventualmente 3 MPa (temperatura de condensação a -5,5°C), assim mantendo a tubulação e os componentes abaixo do limite de pressão de 2,5 ou 3 MPa, que são os limites das tecnologias atuais. A consequência é que os custos são mantidos semelhantes entre sistemas com R-744 e sistemas com HFC. Para lojas maiores (área de vendas acima de 2.500 m²), o uso de R-744 em sistema em cascata é ainda mais econômico, devido às dimensões menores da tubulação.

Em um sistema híbrido, a condensação do R-744 no estágio de baixa temperatura é feita por troca de calor com o fluido de transferência de calor usado no estágio de temperatura média ou pela evaporação do refrigerante de temperatura média em um evaporador-condensador, como mostra a Figura 4-4, de modo que o calor do sistema com R-744 seja entregue no estágio de temperatura média e depois liberado para o exterior por meio do sistema de compressão de vapor de temperatura média. Esse conceito foi instalado em supermercados muito grandes e alega-se que iguala os custos iniciais de sistemas diretos com R-404A, porque a carga de R-404A é reduzida de 1,5 tonelada para menos de 250 kg. Esse projeto concorre com os sistemas em cascata completos apresentados na seção seguinte.

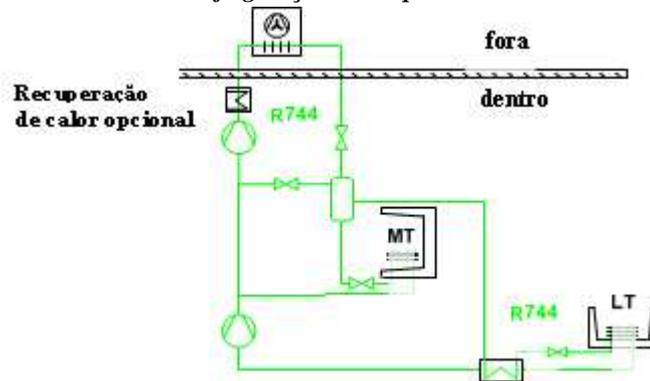
Tais sistemas começam a ser usados em alguns países do Artigo 5; para obter exemplos, consulte /GTZ09ii/. Outra variação é a utilização de um circuito HTF de alta temperatura conectado a

unidades condensadoras resfriadas com água posicionadas dentro de compartimentos expositores de média e baixa temperatura e ao lado de câmaras frigoríficas. Isso permite a minimização da carga de refrigerante dentro da área de varejo (Figura 4-5), permitindo assim o uso de HCs. Pelo menos uma cadeia de supermercados já usa essa abordagem /ACR09/.

Sistemas de booster em duas fases com R-744

O *design* de sistema de refrigeração com R-744 mais atual utiliza R-744, tanto para temperatura baixa quanto para temperatura média. Um *design* comum é aquele descrito na Fig. 4-1; outro é aquele em que os compressores para o estágio de baixa temperatura são colocados em cascata com os do estágio de temperatura média (Figura 4-5). Esse projeto está se tornando popular na Europa Central e do Norte, onde apresenta menor consumo anual de energia em comparação com os sistemas centralizados comuns. Para altas temperaturas exteriores, o R-744 não é mais condensado no condensador externo resfriado a ar devido à baixa temperatura crítica do R-744, que é de 32°C. A eficiência energética pode ser menor do que a de um sistema comparável com R-404A durante essa operação transcritical. É por isso que tais sistemas só foram instalados em climas moderados. Uma cadeia de lojas alemã anunciou que só compraria sistemas de refrigeração com R-744 a partir de janeiro de 2010, e vários supermercados do Reino Unido assumiram compromissos semelhantes /Kau07/.

Figura 4-5: Sistema centralizado de refrigeração com apenas R-744 /Rhi09/.



Sistemas centralizados atuais

O HCFC-22 está sendo eliminado em novas instalações em todos os países desenvolvidos, tendo a eliminação começado na Europa em 2000. O HCFC-22 ainda representa o maior banco de refrigerante em supermercados e hipermercados nos EUA, na Rússia e em quase todos os países do Artigo 5. Para novos sistemas, a escolha preponderante é o R-404A para todos os países não incluídos no Artigo 5, exceto alguns países do Norte da Europa. Por exemplo, na Noruega e na Dinamarca, devido ao elevado nível de impostos sobre o R-404A, quase todos os novos sistemas centralizados (40 a 70 a cada ano) funcionam com R-744 nos níveis de temperatura baixa e média. Além disso, a Dinamarca proibiu o uso de HFC em sistemas com mais de 10 kg de carga de refrigerante. Consequentemente, muitos sistemas sem HFC estão sendo construídos. No Reino Unido e na Alemanha, mesmo sem os altos impostos sobre refrigerantes com PAG alto, o R-404A já não é a escolha preferida.

No Japão, o R-407C é a principal escolha para aplicações de temperatura média, que é o uso dominante da refrigeração comercial em função do grande consumo de alimentos frescos e crus. O R-404A é usado para todas as aplicações de baixa temperatura.

Na China, HCFC-22 e HFC-134a, em menor escala, são os refrigerantes mais utilizados, sendo o R-404A utilizado para substituir o HCFC-22 em muitos sistemas de baixa temperatura.

O HCFC-22 ainda é uma opção dominante para todos os países do Artigo 5, pois o custo da tecnologia do HCFC-22 é menor e compressores estão disponíveis no mercado global ou local.

Em climas quentes, o R-404A apresenta baixa eficiência energética em comparação com o HCFC-22, devido a sua baixa temperatura crítica (72°C) em relação à do HCFC-22 (86,5°C).

O subresfriamento adicional do R-404A é uma estratégia eficiente em termos energéticos e de custo que pode ser realizada por um pequeno sistema de resfriamento independente somente para o arrefecimento da fase líquida do R-404A que deixa o condensador.

Em climas moderados da Europa Central e do Norte, sistemas diretos com R-744 como fluido refrigerante em um ciclo transcrito/subcrítico, dependendo da temperatura ambiente, foram introduzidos em vários países para supermercados de médio e grande porte. Os sistemas oferecem uma solução de refrigerante de baixo PAG com apenas um refrigerante para refrigeração de baixa e média temperatura. Cerca de 300 sistemas foram instalados na Europa nos últimos anos. Uma opção complementar é um sistema em cascata, no qual R-744 é o refrigerante do circuito de baixa temperatura, como mostrado anteriormente para o sistema híbrido (Figura 4-4). Esse *design* é mais eficiente do que um sistema em cascata exclusivamente com R-744 em climas quentes e está sendo considerado para aplicação em alguns países do Artigo 5. No entanto, sistemas apenas com R-744 com *design* de ciclo ligeiramente modificado a fim de aumentar a eficiência em temperaturas ambientes mais altas estão em teste de campo.

Em resumo, para supermercados com capacidades de refrigeração de menos de 100 kW a pelo menos 1 mW, vários modelos estão sendo experimentados em centenas de lojas. As principais especificações das cadeias comerciais são manter o *design* simples, de fácil manutenção e serviço, e capaz de evitar a perda de produtos alimentícios quando ocorre uma falha nos sistemas de refrigeração. Essas especificações devem ser compatíveis com a redução da carga de refrigerante e com a escolha de refrigerantes com PDO 0, PAG baixo e melhor eficiência energética.

4.4 Opções para equipamentos existentes

Os CFCs (CFC-12 e R-502) foram eliminados em equipamentos novos de refrigeração comercial na maioria dos países do Artigo 5 a partir de 2005. No entanto, ainda haverá necessidade de manutenção de sistemas de refrigeração comercial que utilizam CFCs nos próximos anos. Até agora, não foi identificada falta de CFCs reciclados, confirmando a avaliação observada dez anos antes em países desenvolvidos. Misturas intermediárias de HFC, como R-413A, são usadas para *retrofit* de sistemas de temperatura média com CFC-12 e R-417A ou R-422B para *retrofit* de R-502; os *retrofits* não assumiram uma cota de mercado significativa das vendas de refrigerante.

O *retrofit* de equipamentos de refrigeração comercial gera um maior interesse em países do Artigo 5, para economizar custos. Para realizar um *retrofit* confiável, uma formação adequada de técnicos de manutenção é necessária mesmo se soluções técnicas estiverem bem estabelecidas. Para muitas empresas de serviços conhecimento e equipamentos nem sempre estão disponíveis. *Retrofits* exigem a mudança de lubrificante e maiores precauções técnicas. A disponibilidade dos novos lubrificantes POE, bem como dos novos filtros secadores, deve ser verificada. Nos países do Artigo 5, para muitas empresas de manutenção, ainda é óbvia uma significativa falta de ferramentas adequadas: equipamento de recuperação, manguueiras de conexão, cilindros de recuperação, bomba de vácuo a seco e balança de precisão. Todos esses equipamentos e ferramentas são necessários para a realização do *retrofit* adequado, incluindo as etapas principais: recuperação, evacuação, troca de óleo e carga cuidadosa do novo refrigerante. Todos esses elementos fazem parte de programas de formação atualmente implementados nos países do Artigo 5.

Para HCFCs, o status de uso varia muito, dependendo da regulamentação. Na Europa, o uso de HCFC-22 virgem para fins de manutenção foi descontinuado em 01 de janeiro de 2010; apenas HCFCs reciclados podem ser usados até 01 de janeiro de 2015.

Nos EUA, a produção e a importação de HCFC-22 pararam em 01 de janeiro de 2010 para novos equipamentos de refrigeração; a manutenção é autorizada até 2020, mas as quantidades de HCFC são limitadas. Para os países desenvolvidos, diversos estudos indicam a necessidade de fortes programas de conversão dos atuais sistemas de refrigeração comercial, devido à possível falta de HCFC-22 para manutenção. Como será mostrado no próximo parágrafo, são propostas diversas opções.

Equipamentos autônomos e unidades condensadoras

Três opções conhecidas estão disponíveis, dependendo da vida útil restante e dos custos projetados:

- Descarte do equipamento antigo e aquisição de novo equipamento que use um refrigerante não SDO,
- Conserto e recarga com o mesmo refrigerante e
- Conserto e recarga com um refrigerante de PDO baixo ou zero.

As conversões de equipamentos autônomos e unidades condensadoras que passam do CFC-12 para o HFC-134a estão bem estabelecidas. A conversão do HCFC-22 para misturas de HFC está em curso em países desenvolvidos. É importante salientar que, para todos os equipamentos autônomos com um tubo capilar e com um circuito de refrigeração completamente brasado, a conversão é improvável. O possível *retrofit* se destina principalmente a unidades condensadoras e envolve várias etapas. Fabricantes de produtos químicos propõem várias misturas de HFC. A escolha depende do nível de temperatura e é a mesma para unidades condensadoras e grandes sistemas centralizados.

A mudança do óleo de alquil-benzeno para lubrificante POE é recomendada, assim como o ajuste de sobreaquecimento em caso de válvula de expansão termostática, e a substituição do filtro secador. Esses procedimentos estão bem estabelecidos há vários anos, mas treinamento contínuo ainda é necessário em muitos países do Artigo 5 para garantir a qualidade do *retrofit* e, assim, a vida útil restante dos equipamentos adaptados.

Sistemas de supermercado

Nos países desenvolvidos, os equipamentos de supermercado são parcialmente ou totalmente renovados a cada 7 ou 10 anos, dependendo do país. Nos países do Artigo 5, o tempo de vida útil é significativamente mais longo, de 15 anos até 25 anos, portanto, as opções de *retrofit* têm impacto muito significativo para limitar os custos, visando a evitar a mudança do sistema de refrigeração.

Retrofit do R-502

Devido a problemas relacionados a lubrificantes, os *retrofits* de R-502 são realizados principalmente com misturas baseadas em HCFC-22 (R-408A ou R-402B). Estudos sobre consumo de energia mostram que a eficiência energética obtida com essas misturas é comparável à do R-502. Não foram registrados grandes problemas ou avarias. Parece ser uma opção simples e confiável.

Retrofit do HCFC-22

Novas misturas de HFC, como R-422D e R427A, foram desenvolvidas para facilitar a mudança do HCFC-22 para essas misturas de HFC. O R-422D é apresentado como uma mistura na qual não é necessária troca de óleo devido aos 3,4% de HC-600a misturados com 65,1% de HFC-125 e 31,5% de HFC-134a. Diferentes testes mostram que, dependendo do circuito, uma mudança progressiva do óleo alquil-benzeno anterior para POE conduz a um melhor retorno de óleo para os *racks* de compressores. O R-427A é apresentado como mistura refrigerante para substituição do HCFC-22 com uma troca de óleo inicial. O *retrofit* já começou na Europa e nos EUA, mas ainda não ganhou impulso significativo. Além disso, o preço do HCFC-22 manteve-se baixo até 2008, não indicando qualquer escassez imediata; apenas em 2009 os preços do HCFC-22 subiram, mas não em todos os países desenvolvidos.

A mudança do R-22 para essas misturas de *retrofit* indica uma perda de capacidade de refrigeração entre 5 e 10% e uma perda na eficiência energética de mesma ordem. Para sistemas de grandes dimensões, pode não ser necessário adotar misturas intermediárias alternativas, em vez disso aplicando diretamente o R-407C, especialmente em função de seu menor PAG em comparação com as duas misturas e de a troca de óleo necessária para o uso deste refrigerante ser uma melhor prática de manutenção.

4.5 Referências

- /ACR09/ HFCs reduced as Waitrose shelves CO₂ for a greener future, ACR News, UK, October 2009.
- /Ass06/ Assawamartbunlue, K., Brandemuehl, M. J., Refrigerant Leakage Detection and Diagnosis for a Distributed Refrigeration System, HVAC Research, Vol. 12, No. 3, July 2006.
- /Bax03b/ Baxter, V.D. (éd.), 2003b: Advanced supermarket refrigeration/Heat recovery systems. Vol. 2, Country Reports. IEA Heat Pump Center, 73 pp (CD-ROM ISBN: 90-73741-49-1).
- /Bir00/ Birndt, R., Riedel R. and Schenk J., 2000 Tightness of Commercial Refrigeration Systems, Research Project Commissioned by the Forschungsrat Kältetechnik
- /Bir00/ Birndt, R., Riedel R. and Schenk J., 2000: Dichtheit von Gewerbekälteanlagen (Tightness of commercial refrigeration systems. Die Kälte – und Klimatechnik, 9/2000, 56-63 (in German).
- /Biv04/ Bivens, D. and Gage, C., 2004: Commercial refrigeration systems emissions. In the proceedings of the 15th Annual Earth Technology Forum, April 204, Washington, USA.
- /Clo08/ Clodic D. Saba S., Slim R., Palandre L. Inventory of Direct and Indirect GHG Emissions from Stationary Air Conditioning and Refrigeration Sources, with Special Emphasis on Retail Food Refrigeration and Unitary Air Conditioning CARB Agreement No. 06-325 – December 2008
- /Clo06/ Clodic, D., Palandre, L., Barrault, S., and Zoughaib, A., 2006: Short report of Inventories of the worldwide fleets of refrigerating and air conditioning equipment in order to determine refrigerant emissions. The 1990 to 2003 updating. ADEME final report.
- /DOE09/ DOE - Energy Conservation Program: Energy Conservation Standards for Refrigerated Bottled or Canned Beverage Vending Machines; Proposed Rule, 10 CFR Part 431, Federal Register / Vol. 74, No. 102 / Friday, May 29, 2009.
- /Est07/ Estberg, E. R., Supermarket Refrigerant Leaks – Perspective, February 9, 2007
- /EU00/ Regulation (EC) no. 2037/2000 the European Parliament and of the Council of 29 June 2000 on substances that deplete the ozone layer.
- /Gir04/ Girotto, S., Minetto, S. and Nekså, P., (2004): *Commercial Refrigeration with R-744 as Refrigerant, Experimental Results*, Int. J of Refrigeration, Vol 27 (7), November 2004
- /GTZ09i/ Converting the Production of Refrigeration Equipment to Natural Refrigerants, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 2009
- /GTZ09ii/ Conversion of Supermarket Refrigeration Systems from F-Gases to Natural Refrigerants, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 2009
- /Haa05/ Haaf, S., Heinbokel, B. and Gernemann, A. 2005: Erste CO₂-Kälteanlage für Normal- und Tiefkühlung in einem Schweizer Hypermarket, Die Kälte & Klimatechnik, 2/2005
- /IPCC05/ IPCC, 2005: Safeguarding the ozone layer and the global climate system. Issues related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons. Cambridge University Press. 2005. ISBN: 13-978-0-521-68206-0.
- /Kau07/ Kauffeld, M., Trends and Perspectives in Supermarket Refrigeration, EU conference to focus on R744 refrigeration, Germany, 2007
- /Kaz06/ Kazachki, G. S., Hinde, D. K., Secondary coolant systems for supermarkets, Ashrae Journal, September 2006.
- /Rhi09/ Rhiemeier, J.-M.; Harnisch, J.; Kauffeld, M.; Leisewitz, A.: Comparative Assessment of the Climate Relevance of Supermarket Refrigeration Systems and Equipment. Environmental Research of the Federal Ministry Of The Environment, Nature Conservation And Nuclear Safety Research Report 206 44 300, UBA-FB 001180/e, March 2009
- /Saw06/ Sawalha, S., Suleymani, A., Rogstam, J., Project 2: CO₂ in Supermarket Refrigeration, Project report, Phase 1, 2006.

- /See10/ Seeton Ch., Wilson D., Countdown to R-1234yf industry preparation, SAEScottsdale symposium July 2010.
- /UNEP05/ UNEP, 2005: Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol. Policies, procedures, guidelines and criteria. UNEP 2005.
- /UNEP03/ UNEP, 2002 Refrigeration, AC and Heat Pumps Assessment Report, ISBN XXXX, UNEP Nairobi, March 2003
- /WDI04/ World Data International on line, The World Bank Group, 2004.

Capítulo 5

Refrigeração industrial

Autor Principal do Capítulo

Andy Pearson

Coautores

Holger König

Alexander C. Pachai

Colaborador

Guangming Chen

5 Sistemas industriais

5.1 Introdução

Os sistemas industriais são caracterizados principalmente pelo tamanho do equipamento (tamanho físico e capacidade de transferência de calor) e pela faixa de temperatura abarcada pelo setor. Relatórios anteriores do RTOC dão ênfase à Refrigeração Industrial em: sistemas de refrigeração para produção, armazenamento ou distribuição de alimentos, bebidas, produtos químicos, farmacêuticos e outros produtos. Este relatório irá estender a discussão sobre as Bombas de Calor Industriais: sistemas de aquecimento semelhantes em escala e aplicações aos sistemas de Refrigeração Industrial e irá introduzir um novo setor chamado Ar Condicionado Industrial.

Este setor inclui sistemas para controlar a temperatura do ar em fábricas de produção, centros de informática e outras áreas de processamento. Além do tamanho da instalação, os traços distintivos dos sistemas de Ar Condicionado Industrial são que o resfriamento não é puramente para o conforto humano, a carga não é essencialmente sazonal e o funcionamento da instalação seria comprometido pela falha do equipamento de refrigeração. Esses sistemas são às vezes chamados de “*Mission Critical*” (Essenciais para a missão) e têm necessidades especiais de design, incluindo a necessidade de serviço ininterrupto, que não são tipicamente atendidas por práticas tradicionais de AVAC /ASH09/. Chillers de grandes dimensões utilizados para o condicionamento de ar em escritórios, hotéis, centros de convenções e instalações similares não são discutidos no presente capítulo. Informações detalhadas sobre esses sistemas podem ser encontradas no capítulo 9 sobre chillers. Uma breve visão geral do uso dos HFCs na geração elétrica com ciclo Rankine também é fornecida.

Os sistemas de Refrigeração Industrial são caracterizados por taxas de extração de calor no intervalo de 10kW a 10 MW, tipicamente a temperaturas de evaporação de -50°C a +20°C. Existe alguma sobreposição no extremo inferior da escala de capacidade com refrigeração comercial para lojas, restaurantes e instituições: sistemas industriais neste subsetor caracterizam-se pela complexidade do *design* e pela natureza da instalação. O tamanho do mercado de refrigeração industrial é difícil de avaliar, porque abrange uma variedade muito ampla de aplicações. Algumas informações úteis podem ser obtidas pela consideração do mercado de condensadores evaporativos, pois estes são utilizados para rejeição de calor na maioria das instalações de grandes dimensões. Dados relativos ao ano de 2009 foram analisados para três regiões globais: Europa/Rússia, América do Norte e Índia/China. Supõe-se que o valor do condensador representa 5% do preço de venda do sistema de refrigeração. A análise de uma grande variedade de projetos mostrou que o valor do condensador estava entre 3% e 7% do valor total do contrato de refrigeração.

Tabela 5-1: Valor de mercado estimado (2009) para grandes instalações de Refrigeração Industrial

	Vendas totais de condensadores (M US\$)	Mercado Total Estimado (M US\$)	Proporção de uso de R-717
Europa/Rússia	42	830	90%
América do Norte	77	1.500	95%
Índia/China	45	900	90%

Fabricantes de condensadores evaporativos também relatam que 90% dos condensadores vendidos na Europa, na Rússia, na Índia e na China são utilizados em sistemas com R-717. Na América do Norte, a proporção é ainda maior, de 95%. O restante é usado em sistemas com HCFC-22, R-404A, R-507A ou, ocasionalmente, HFC-134a. Os resultados são mostrados na tabela 5-1.

Sistemas industriais menores usam mais frequentemente condensadores resfriados a ar e, nesses casos, é mais provável que o refrigerante seja um fluorcarboneto, condensadores resfriados a ar

com tubos de aço inoxidável sejam usados em pequenos sistemas com R-717. Tipicamente, se o HCFC-22 ainda é permitido, por exemplo, em países do Artigo 5, ele será utilizado para estes sistemas menores. Se substâncias que destroem o ozônio já foram proibidas, os refrigerantes provavelmente serão R-404A e R-507A para os sistemas de baixa temperatura e HFC-134a para os sistemas de alta temperatura. A experiência da eliminação acelerada de SDO na Europa mostrou que os sistemas com HCFC-22 continuam a ser implantados até o prazo de eliminação.

O mesmo padrão de comportamento foi observado nos Estados Unidos, onde o HCFC-22 foi proibido recentemente, nos últimos anos. A tabela 5-2 mostra o valor estimado do mercado de refrigeração para as mesmas regiões com a divisão entre R-717, HCFC-22 e HFCs. Deve-se observar, no entanto, que pode haver variações significativas de país para país ou de Estado para Estado dentro das regiões, devido a legislações ou tradições. Por exemplo, o uso de R-717 em pequenos sistemas industriais é bastante comum na Alemanha, mas não na França, e é praticamente desconhecido no Canadá e em alguns estados dos EUA, como Nova Jersey. Observa-se também que a proibição do HCFC-22 nos EUA a partir de 01 de janeiro 2010 irá causar uma transição rápida para R-717 ou HFC, mas não está claro qual será preferido.

Tabela 5-2: Valor de mercado estimado em 2008 para pequenas instalações de Refrigeração Industrial

	Mercado Total Estimado (M US\$)	Proporção de uso de R-717	Proporção de uso de HCFC-22	Proporção de uso de HFC
Europa/Rússia	200	25%	10%	65%
América do Norte	300	10%	80%	10%
Índia/China	500	5%	90%	5%

Para países do Artigo 5 que ainda usam HCFC-22 e pensam no futuro, é possível que um padrão diferente venha a surgir. O medo das consequências de uma possível "redução" do uso dos HFCs pode resultar em uma mudança direta do HCFC-22 para o R-717 em novos sistemas. Em muitos aspectos, isso é mais simples do que a mudança para os HFCs e, posteriormente, para o R-717. Por exemplo, os lubrificantes tradicionais utilizados com o HCFC-22 também podem ser usados com R-717, enquanto alternativas (tipicamente éster de poliol) são necessárias para HFCs e não são compatíveis com R-717.

Sistemas de Bombas de Calor Industriais têm taxas de entrega de calor de 100 kW a mais de 100 MW, com a fonte de calor geralmente à temperatura ambiente ou a temperatura do calor residual de um processo industrial. Esses sistemas normalmente precisam aquecer a temperaturas mais elevadas do que as bombas de calor domésticas ou comerciais usadas para aquecimento de ambientes ou água, conforme descrito nos capítulos 8 e 9. As temperaturas típicas estão entre 60°C e 80°C. No entanto, se o calor recuperado precisar ser usado para gerar vapor, a temperatura deverá ser de pelo menos 120°C. O calor recuperado de grandes sistemas industriais é normalmente transferido para a água ou para um fluido de transferência de calor e usado para o aquecimento de processo ou para o abastecimento de sistemas de aquecimento urbano. O aquecimento direto do ar a partir de grandes sistemas é incomum por causa do grande volume de ar que estaria envolvido.

Não há um componente único do sistema que possa ser identificado e monitorado para dar uma indicação do tamanho global do mercado, porque os compressores poderiam igualmente ser utilizados em outros sistemas industriais e o condensador terá um *design* customizado adequado para a aplicação de aquecimento – mais provavelmente, um aquecedor de fluido, como um trocador de calor de placas ou um vaso de pressão de carcaça e tubo. O mercado é provavelmente cerca de 5% do mercado de refrigeração industrial na Europa, e menos na América do Norte, na Índia e na China.

Sistemas de Ar Condicionado Industrial não podem ser diferenciados de sistemas comerciais apenas com base em tamanho, já que muitos edifícios comerciais têm grandes cargas de resfriamento. Um sistema industrial exige um nível mais elevado de confiabilidade e está sujeito

a cargas elevadas durante todo o ano. Esses sistemas podem proporcionar conforto humano em áreas altamente povoadas, com grandes cargas de calor, por exemplo em salas de mercados ou revendas com muitos equipamentos de informática. Outros sistemas de Ar Condicionado Industrial são utilizados principalmente para manter condições de processamento aceitáveis para equipamentos como servidores em centrais de dados. Em alguns casos, a parte essencial de uma carga total de resfriamento pode ser fornecida em conjunto com um sistema de resfriamento de conforto, configurado de modo que, no caso de falha parcial do sistema, o resfriamento essencial seja mantido em detrimento do conforto dos ocupantes do restante do edifício. Muitas vezes, os chillers utilizados para Ar Condicionado Industrial são do mesmo tipo descrito no Capítulo 9; as informações de mercado e as opções para mudanças futuras também são descritas nesse capítulo. No entanto, muitos outros sistemas industriais são customizados para a aplicação.

Uma avaliação da importância relativa das alternativas tradicionais HCFC e HFC nos três segmentos principais do setor industrial é apresentada na Tabela 5-3 /UNE10/. Quando misturas que contêm HCFCs são mostradas, por exemplo, no caso do R-403B, estas são formulações de refrigerante desenvolvidas como substitutos para os CFCs, em particular R-502. As misturas mostradas como HFCs, por exemplo, R-404A, foram desenvolvidas como substitutos do CFC, mas também têm sido usadas em novas construções e aplicações de *retrofit* como substitutos dos HCFCs.

Cada um dos três subsetores descritos na tabela é dividido em uma análise mais detalhada na seção 5.2, na qual sub-subsetores, como o armazenamento a frio, lazer e processamento são identificados e analisados.

Tabela 5-3: Avaliação de alternativas no Setor Industrial

Setor que usa HCFCs		Sistemas Industriais											
		Refrigeração industrial				Bombas de calor industriais				Ar condicionado industrial			
		% do uso no total				% do uso no total				% do uso no total			
1	Quais os HCFCs usados	HCFC-22		misturas (ex: R-403B)		HCFC-22		misturas (ex: R-403B)		HCFC-22		misturas (ex: R-403B)	
2	Percentagem de HCFCs (no total) usados no setor globalmente	bancos	nova construção	bancos	nova construção	bancos	nova construção	bancos	nova construção	bancos	nova construção	bancos	nova construção
		40%	10%	10%	0%	30%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%
3	Percentagem de alternativas com PAG alto (no total) – como HFCs – usadas no setor mundialmente	HFC-134a		misturas (ex.: R-404A)		HFC-134a		misturas (ex.: R-404A)		HFC-134a		misturas (ex.: R-404A)	
		5%	5%	12%	20%	60%	40%	0%	0%	10%	40%	15%	20%
4	Qual alternativa com baixo PAG já é usada												
		R-717	R-744	HC		R-717	R-744	HC		R-717	R-744	HC	
5	Comparação de custo relativo do produto com a alternativa de baixo PAG comparada ao produto baseado em HCFC												
		+20%	+40%	+50%		0%	N/A	N/A		+50%	+100%	+50%	
6	Comparação												

	de eficiência energética do produto com a alternativa de baixo PAG comparada ao produto baseado em HCFC												
		+20 %	0%	+10 %		+10 %	N/A	N/A		+20 %	0%	+10 %	
7	Penetração no mercado da alternativa de baixo PAG em países desenvolvidos												
		80 %	10%	2%		5%	N/A	N/A		30%	0%	10%	
8	Penetração no mercado da alternativa de baixo PAG em países em desenvolvimento												
		40 %	0%	0%		0%	N/A	N/A		10%	0%	5%	
9	Comparação da alternativa de baixo PAG com a opção de alto PAG usada normalmente em termos de eficiência energética	R-404A	R-404A	R-404A		HFC-134a				HFC-134a			
		+30 %	0%	+20 %		+20 %	N/A	N/A		+10 %			
10	Quais alternativas de baixo PAG ainda não foram comercializadas mas poderão ser comercializadas no futuro desenvolvimento												
		ciclo de ar compressão de vapor d'água			não aplicável		não aplicável		não aplicável		não aplicável		
11	Indicação da escala de tempo para essa comercialização prevista												
		desconhecida		desconhecida		não aplicável		não aplicável		não aplicável		não aplicável	

Outro uso de HFCs não discutido neste relatório é o uso em um ciclo fechado de evaporação e condensação para a geração de energia elétrica (ou outro trabalho útil) a partir da expansão do gás de alta pressão. O sistema básico, chamado de ciclo Rankine, é semelhante ao processo utilizado para geração de energia em turbinas a vapor, mas opera a temperaturas mais baixas (dependendo das propriedades do fluido de trabalho) e, assim, pode fazer uso de calor de fontes geotérmicas ou rejeitado de processos industriais. Quando os HFCs são usados como fluido de trabalho, esses sistemas são chamados de Ciclos Rankine Orgânicos (ORC) /Zyh03/. O ciclo Rankine usa calor para evaporar o fluido de trabalho a uma pressão relativamente elevada. O gás resultante passa através de um motor de expansão, que faz o trabalho útil, geralmente fazendo com que um alternador produza energia elétrica. O gás de baixa pressão na saída do expansor é condensado, geralmente por rejeição de calor para a atmosfera em uma torre de resfriamento, e o líquido resultante é bombeado a uma pressão de evaporação por uma bomba de líquido. A taxa de conversão de energia térmica para elétrica varia de acordo com as diferenças de pressão e com a eficiência do motor de expansão, mas tipicamente fica entre 10% e 15%, incluindo a energia elétrica necessária para acionar ventiladores e bombas no sistema /Les09/.

Alguns sistemas ORC usam o HFC-134a como fluido de trabalho. Tem a vantagem de ser relativamente barato e disponível, mas tem baixa temperatura crítica e por isso não pode tirar total proveito das fontes de calor de temperatura mais elevada. Outros sistemas usam HFC-245fa ou HFC-236fa, que têm temperaturas críticas significativamente mais elevadas. O PAG do HFC-245fa é aproximadamente 1.000, enquanto que o do HFC-236fa é aproximadamente 9.300. Por isso, é provável que os futuros sistemas comerciais sejam baseados em HFC-245fa, a menos que severas restrições sejam impostas a todos os HFCs com PAG alto. Uma cetona fluorada ($\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$, também conhecida como C_6F) é utilizada como alternativa. Tem PDO zero e PAG zero, mas propriedades menos favoráveis do que o HFC-245fa /Bra08/. Ciclos Rankine também foram produzidos usando R-717 e misturas de amônia-água como fluido de trabalho, embora estritamente falando não possam ser descritos como "Orgânicos". O custo de investimento relativamente alto e a taxa relativamente baixa de retorno significam que esses sistemas são geralmente limitados para uso em grandes usinas de processamento, embora alguns sistemas tenham sido instalados em edifícios comerciais.

Trinta anos atrás, os clorofluorcarbonos eram amplamente utilizados no setor industrial em muitos países europeus, principalmente em misturas, tais como R-502. A vantagem específica dessas substâncias era seu baixo índice de compressão, que permitia a operação em fase única em uma razão de pressão maior do que poderia ser alcançada com R-717 ou mesmo com HCFC-22. Outros países, notadamente os Estados Unidos e o Canadá não tinham abandonado o uso de R-717 na mesma medida que alguns países europeus. No setor de bombas de calor, o CFC-12, que tem uma temperatura crítica de 112°C , era comum para aplicações de pequeno e médio porte e o R-717 era usado em sistemas maiores. O Ar Condicionado Industrial era menos comum naquela época e tendia a usar chillers padrão com refrigerante CFC. O abandono do uso de CFCs no final da década de 1980, estimulado pelo Protocolo de Montreal, apresentou problemas particulares no setor industrial porque os fluidos de reposição com menor ou nenhum potencial de destruição do ozônio não eram tão adequados na ampla variedade de operações necessária. Em alguns lugares, isso resultou em um retorno rápido para a tecnologia com R-717, por exemplo, no Reino Unido /Bro92/. Em outros países a readoção do R-717 sofreu resistência mais ampla, e a adoção de refrigerantes de baixo PDO veio junto com o uso difundido de sistemas de refrigerantes secundários. Outras partes do mundo seguiram padrões semelhantes; o R-502, por exemplo, tinha sido comum no Japão. O setor industrial do país respondeu a sua remoção com o desenvolvimento de sistemas compactos, com baixa carga de R-717 e com o uso de sistemas secundários com uma carga limitada dos fluidos HFC mais caros. Em países do Artigo 5 onde o R-717 já era utilizado, estes sistemas foram mantidos e ampliados, mas os *designs* utilizados tendiam a ser antiquados e não tão eficientes ou seguros quanto as inovações japonesas ou europeias. Em países sem histórico de uso de R-717 ou sem infraestrutura de suporte, a solução era muitas vezes usar um grande número de pequenos sistemas comerciais leves para atender a uma grande carga de resfriamento. Isso não apenas é caro para instalar e manter, mas também é muito menos eficiente em operação.

Com a maior ênfase em mudanças climáticas nos últimos anos, a importância da eficiência energética é agora muito maior do que antes. Isto conduziu a uma reavaliação das políticas anteriores, por exemplo, na tendência crescente em direção aos sistemas centrais com R-717 em vez de múltiplos sistemas comerciais com HCFCs. Há também um foco maior na integração de sistemas para fazer melhor uso da recuperação de calor residual.

Na Europa, o regulamento sobre o uso de gases fluorados também incentivou os usuários a considerar R-717 e outros desenvolvimentos, tais como o uso de R-744 em sistemas em cascata. A motivação parece ser principalmente baseada no medo de futuras regulamentações ainda desconhecidas e não no efeito imediato das regras atuais, direcionadas, essencialmente, a ar condicionado comercial e móvel. No setor industrial, é provável que a adoção de R-717 e R-744 por usuários que anteriormente implantavam HCFC-22 e misturas de HFC reduza o potencial de aquecimento global relacionado à energia por meio de um incremento de eficiência e da eliminação do potencial de aquecimento global direto causado por vazamento de refrigerante.

Até o momento, não houve qualquer discussão significativa sobre a manufatura sustentável de sistemas industriais. É deixado a cargo dos fabricantes minimizar o conteúdo de material por razões de custo, em vez de por razões ambientais, mas isso pode levar à aceitação de sistemas com eficiência mais baixa em alguns casos. Por exemplo, a diferença de temperatura do *design* utilizada

para a escolha de condensadores resfriados a ar está entre 15-20 K, resultando em trocadores de calor pequenos e relativamente baratos. É possível obter maior eficiência utilizando trocadores de calor maiores, mas eles usam mais matéria-prima e são mais caros. Não há uma orientação clara sobre como otimizar essa decisão de *design*, como informações sobre a energia incorporada no trocador de calor ou a fonte preferida de materiais. A utilização de alumínio reciclado em trocadores de calor é um exemplo de fabricação sustentável. O *design* para minimizar o conteúdo de aço ou cobre é outro. No futuro espera-se que a maior utilização de plásticos e outros materiais sintéticos gere conscientização a respeito da fabricação sustentável.

5.2 Aplicações (incluindo tamanho do mercado, prática atual, variações regionais)

5.2.1 Processamento de alimentos

A refrigeração é utilizada para resfriar e congelar alimentos durante o processamento, a fim de prolongar seu prazo de validade, mas pode também ser usada para tornar a manipulação ou o processamento mais fácil. Por exemplo, presuntos são temporariamente congelados para que possam ser cortados mais finos. A refrigeração também desempenha um papel no processo de pasteurização, no qual o produto é rapidamente resfriado depois do tratamento térmico para minimizar a deterioração. Uma grande variedade de técnicas de refrigeração e congelamento é utilizada, incluindo imersão em líquido, congelamento por rajada de ar em lotes ou em um processo contínuo e congelamento por contato em mesas ou blocos entre placas de metal. A escolha do processo depende da forma que o produto leva, se é embalado ou não, robusto ou frágil, processado ou cru. Alguns legumes e frutas, como batatas, maçãs e frutas mais moles são notoriamente difíceis de congelar, pois a expansão da água destrói as paredes celulares, levando a um amolecimento quando são descongelados. Outros produtos, como ervilhas, milho e feijão, podem ser congelados em pedaços muito pequenos, utilizando um leite fluidizado com ar para permitir que cada peça individual seja congelada sem aglomeração.

Uma técnica desenvolvida no Japão oferece a possibilidade de sucesso no congelamento de produtos difíceis, como leite e frutos macios, utilizando um campo magnético para condicionar o produto durante o processo de congelamento /Suz05/. Isso pode ajudar a superar a percepção pública negativa sobre alimentos congelados, de que o alimento descongelado será sempre inferior em qualidade ao alimento fresco. Em verdade, se alimentos de boa qualidade são congelados profissionalmente logo após a colheita, captura ou cocção, oferecem maior prazo de validade e qualidade superior quando descongelados. As taxas de deterioração poderiam ser substancialmente reduzidas se uma maior proporção de alimentos fosse congelada antes da expedição. Se a opinião pública sobre alimentos congelados for melhorada, poderá haver um aumento significativo neste setor do mercado.

5.2.2 Armazenamento a frio

Instalações de armazenamento a frio costumam operar em dois níveis de temperatura. Produtos congelados devem ser armazenados abaixo de -18°C , e é comum manter o armazenamento entre -22°C e -26°C para fornecer uma margem de segurança em caso de falhas importantes no equipamento. Alguns produtos necessitam de temperaturas mais baixas. Sorvetes e produtos semelhantes são armazenados entre -26°C e -29°C , e alguns produtos de mercado de nicho, como alguns tipos de sushi, devem ser mantidos significativamente mais frios, a até -60°C , para manter a qualidade do produto. Produtos refrigerados são normalmente armazenados entre 0°C e 4°C , embora frutas, produtos de panificação e vegetais sejam armazenados entre 8°C e 12°C . Alguns estabelecimentos oferecem contratos de armazenamento de longo prazo, a fim de estocar produtos até que estejam "fora de safra" e, portanto, mais valiosos. O estoque pode ser mantido por meses nesses armazéns. Outros locais fornecem instalações de triagem, a fim de reabastecer supermercados diariamente; nessas usinas, o produto geralmente não fica no local por mais de 24 horas. A carga de resfriamento nesses locais é elevada, devido à quantidade de tráfego por câmaras de temperatura controlada, embora a carga de produto seja tipicamente baixa, uma vez que o tempo de residência não é suficientemente longo para que a temperatura do ar tenha qualquer efeito significativo sobre o produto.

5.2.3 Resfriamento industrial em edifícios e centros de TI

Alguns processos de produção exigem um controle rígido da temperatura ambiente, como produção de *microchips*, pintura por pulverização ou moldagem por injeção. Essas cargas são relativamente constantes durante todo o ano, e o volume de produção é afetado se a instalação de resfriamento não funciona. Por isso, confiabilidade e eficiência do equipamento são mais importantes do que no condicionamento de ar de escritórios. Isso às vezes pode levar à especificação de sistemas com *design* exclusivo, construídos no local, para proporcionar o resfriamento, assim proporcionando o elevado nível de confiabilidade necessário ou possibilitando menor uso de energia. Quando as cargas térmicas são demasiado elevadas para serem tratadas por sistemas de refrigeração por ar ou água (por exemplo, em algumas centrais de dados de alta densidade e outras aplicações de refrigeração para TI), outros fluidos, incluindo o R-744, têm sido utilizados em sistemas diretos /Hut05/. As cargas típicas para essas aplicações podem ser de até 2 kW por m², em comparação com uma carga típica em escritórios de 40 W por m².

A carga de refrigeração industrial é tipicamente quase inteiramente de refrigeração "sensível" – reduzindo a temperatura do ar sem reduzir a umidade, em contraste com uma carga de condicionamento de ar comercial típica, que muitas vezes envolve mais desumidificação, ou resfriamento "latente". O resfriamento latente requer temperaturas mais baixas para trazer o ar para seu ponto de orvalho. Se uma carga de resfriamento industrial é de 100% de resfriamento sensível, ou se o resfriamento pode ser dividido em sistemas separados para arrefecimento sensível e latente, a temperatura de operação para o resfriamento sensível pode ser aumentada, tornando o sistema mais eficiente.

5.2.4 Bombas de calor industriais e recuperação de calor

Muitos processos industriais, incluindo a fabricação de cerveja, laticínios, fábricas de alimentos e processos químicos requerem grandes quantidades de calor além de uma carga de resfriamento. Mesmo que o uso principal do calor, por exemplo, para cozinhar alimentos, não possa ser conseguido por bombas de calor ou recuperação, pode haver muitos usos para calor em menor temperatura, como pré-aquecimento da água de alimentação de caldeiras ou aquecimento da água de lavagem para a área de produção. Quando a aplicação coleta e redireciona o calor residual de um sistema de refrigeração, isso se chama recuperação de calor. Quando executa um processo de resfriamento não produtivo em uma fonte de calor, seja à temperatura ambiente ou como fluxo de calor residual de outro processo é uma bomba de calor.

Bombas de calor grandes também são usadas para o aquecimento de edifícios públicos, como o Aeroporto de Gardermoen, na Noruega (8100kW de capacidade de aquecimento) e o hospital Akershus, na Noruega (8000kW de capacidade de aquecimento). Esses sistemas são personalizados, utilizando R-717 como fluido refrigerante /Ste08/.

Sistemas ainda maiores são utilizados para sistemas de aquecimento urbano, com muitos exemplos na Escandinávia. O menor desses sistemas tem cerca de 5000 kW. A maioria das instalações usa HFC-134a em compressores centrífugos, com alguns (até 15000 kW) usando R-717. O maior deles está em Estocolmo, com uma capacidade total de 180000 kW (180MW), utilizando HFC-134a em compressores centrífugos. Esse sistema leva o calor da água do mar para fornecer a fonte térmica; outras instalações semelhantes utilizam águas residuais do sistema de esgoto /Bai06/.

5.2.5 Lazer

O principal uso de refrigeração no mercado de lazer é para pistas de patinação no gelo, estendendo-se também para pistas de esqui *indoor*, paredes de escalada no gelo, entre outros. Muitos sistemas de pista de patinação no gelo mais antigos usavam CFC-12 direto ou R-717 direto. Mudar para um sistema indireto exigiria a substituição do piso, o que é um considerável dispêndio de capital. Alguns sistemas com CFC-12 foram convertidos para HCFC-22, apesar do aumento na pressão. Da mesma forma, alguns sistemas com R-717 na Europa Central foram convertidos para R-744. Alguns sistemas muito grandes foram instalados para corridas de *bobsled* e *luge*, tipicamente associados com as Olimpíadas de Inverno. Esses sistemas geralmente usam R-717. Uma pista de esqui *cross-*

country recentemente instalada na Finlândia utiliza R-744 para o resfriamento pista, com circuitos de até 1 km de comprimento.

5.2.6 Refrigeração de processo

O resfriamento é utilizado em uma ampla variedade de aplicações de processo (além das aplicações da indústria alimentar discutidas na seção 5.2.1). O resfriamento pode ser aplicado por um sistema direto de refrigeração, com uma serpentina no tanque de processo, ou um revestimento em torno do exterior de um recipiente de reator químico ou tanque de armazenagem. Alternativamente, um fluido secundário, como água, solução de salmoura ou glicol pode ser usado. Nesses casos, chillers padrão, conforme descritos no capítulo 9, podem ser usados, embora ainda possa haver outras razões para exigir que o chiller seja desenhado especialmente para o projeto.

5.3 Opções de fluido de trabalho para novos equipamentos

5.3.1 R-717 (Amônia)

A análise do uso de condensador evaporativo mostrada na Tabela 5-1 indica que R-717 é, de longe, o refrigerante mais comum utilizado em sistemas industriais. O maior perigo apresentado pelo R-717 é sua toxicidade aguda, embora seu odor pungente garanta que concentrações baixas, relativamente inofensivas, sejam óbvias e forneçam um alerta de perigo.

O R-717 é inflamável em concentrações relativamente elevadas, mas tem difícil ignição e, como resultado, conflagrações por R-717 são extremamente raras. Os produtos da combustão são o nitrogênio e água, desta forma não há consequências tóxicas. O limite inflamável inferior é de 16%, cerca de 5.000 vezes maior do que o limite de exposição de curto prazo e cerca de 50.000 vezes superior ao nível mais baixo que pode ser detectado pelo cheiro.

Sistemas com R-717 podem ser projetados para eficiência muito alta, especialmente com altas temperaturas de condensação. Por isso, nos últimos anos, têm sido mais utilizados em pequenos sistemas com condensadores arrefecidos a ar, condensando a uma temperatura de cerca de 50°C /110°F/. A compressão do R-717 produz temperaturas de descarga do compressor relativamente altas em comparação com a maioria dos fluorcarbonetos, mas se compressores de parafuso com injeção de óleo são utilizados, o calor de compressão pode ser removido por arrefecimento do óleo. O R-717 também produz coeficientes de transferência de calor relativamente elevados e requer baixo fluxo de massa em função de seu alto calor latente. A alta temperatura crítica de 133°C torna o R-717 muito adequado para bombas de calor de alta temperatura. Ele fica à pressão atmosférica a -33°C, uma temperatura relativamente alta para freezers industriais. Isso significa que muitos freezers operam com pressão subatmosférica, então ar e umidade são atraídos para o sistema se ele não for à prova de pressão no lado de baixa pressão. Essa infeliz consequência é geralmente bem tolerada porque a umidade é solúvel no líquido de amoníaco e, por isso, não causa falta de confiabilidade imediata e porque o ar e a água podem ser removidos do sistema com relativa facilidade enquanto ele está em funcionamento. No entanto, o acúmulo excessivo de água eventualmente prejudica a eficiência operacional e, portanto, aumenta o consumo elétrico. Portanto, a contaminação do sistema não deve ser deixada sem correção /Nie00/.

5.3.2 Hidrofluorcarbonetos

Quando os primeiros refrigerantes HFC, particularmente o HFC-134a, foram introduzidos no final da década de 1980 para substituir o CFC-12, não havia sucessor óbvio para a mistura de CFC mais comum no mercado industrial, o R-502. Este tinha sido introduzido para permitir plantas de compressão de vapor em fase única a serem utilizadas para aplicações de baixa temperatura, sem temperaturas de descarga excessivas. Quando ficou claro que o R-502 não poderia mais ser usado, porque continha CFC-115, a maioria dos projetistas de sistemas passou a usar HCFC-22 ou R-717, os quais produziam temperaturas de descarga mais altas e, portanto, exigiam refrigeração adicional ou dois estágios de compressão para aplicações de congelamento.

Saturados: Os hidrofluorcarbonetos saturados incluem fluidos como HFC-134a e HFC-125 e misturas de fluidos, misturados para proporcionar vantagens específicas para determinadas aplicações. O HFC-134a é utilizado em pequenos sistemas de alta temperatura; fica à pressão atmosférica em -26°C e requer compressores maiores do que o R-717. A operação subatmosférica é menos comum com HFCs, porque traços de umidade podem congelar e bloquear a válvula de expansão.

O HFC-134a é também amplamente utilizado em compressores centrífugos, incluindo alguns sistemas muito grandes utilizados para aquecimento urbano. Não existe, atualmente, alternativa para o HFC-134a nesta tecnologia.

Não há um único fluido alternativo ao HCFC-22 para utilização em sistemas industriais. O HFC-125 tem relação de temperatura aproximadamente correta, mas tem a temperatura crítica extremamente baixa de 66°C e, portanto, seria extremamente ineficiente se utilizado em sistemas industriais, a menos que a temperatura de condensação fosse muito baixa. É usado como componente de várias das misturas de refrigerante mais populares, nas quais as deficiências em suas propriedades físicas podem ser compensadas pela seleção cuidadosa dos outros componentes da mistura. As misturas mais comuns utilizadas no setor industrial são R-404A e R-507A, que são principalmente misturas de HFC-125 e HFC-134a; este último proporciona maior temperatura crítica e, portanto, melhor eficiência. Muitos sistemas industriais usam evaporadores inundados, nos quais o refrigerante vaporiza no casco. Misturas zeotrópicas (com uma variação de temperatura durante a evaporação) não são adequadas a esses sistemas, porque os componentes da mistura podem ser fracionados; por isso, o R-407C e misturas de serviço de substituição, como o R-417A, não são muito utilizadas no setor industrial.

É surpreendente que o R-410A não tenha sido mais amplamente utilizado em sistemas industriais, porque tem baixo ponto de ebulição à pressão atmosférica (-51,4°C), deslizamento (*glide*) muito baixo (inferior a 0,2K a -40°C) e sua temperatura crítica é quase igual à do R-404A. O volume deslocado do compressor necessário para o R-410A é cerca de 30% menor do que para o R-404A, de modo que os custos de equipamento, incluindo tubulação instalada, devem ser menores, embora as pressões de funcionamento sejam mais elevadas. O principal obstáculo para sua utilização é, provavelmente, o preço elevado do fluido refrigerante, especialmente em comparação com R-717 e R-744. Quando o inventário de refrigerante de um sistema está em toneladas, o custo da carga pode ser uma parte significativa do custo total da instalação. As instalações típicas são, portanto, as de baixa capacidade e baixa temperatura, por exemplo, para o congelamento de sangue e pequenos sistemas farmacêuticos.

Insaturados: os hidrofluorcarbonetos insaturados, como HFC-1234yf e HFC-1234ze, até o momento, não foram utilizados em sistemas industriais. O baixo potencial de aquecimento global sugere que eles podem ser uma alternativa adequada ao R-717 e ao R-744, mas é muito provável que eles ainda sejam mais caros que o R-410A, com a desvantagem adicional de serem inflamáveis. É, portanto, provável que nenhum produto dessa família de produtos químicos consiga penetração de mercado significativa no setor industrial, mesmo que misturado com outros compostos para reduzir os preços ou a inflamabilidade.

5.3.3 HCFC-22

Quando sua utilização ainda é permitida em novos sistemas, em especial nos países do Artigo 5, o HCFC-22 é ainda comum. Ele não foi superado por misturas de HFC, porque é mais barato do que qualquer uma das misturas e, geralmente, oferece melhor eficiência do sistema. O HCFC-22 foi amplamente utilizado em sistemas industriais menores e em grandes sistemas comerciais, mas foi posteriormente substituído pelo R-404A, que tem um potencial de aquecimento global significativamente mais elevado.

5.3.4 Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos não são amplamente utilizados na refrigeração industrial, exceto quando

medidas de segurança adicionais para garantir que vazamentos de refrigerante não possam ser inflamados são exigidas, como em uma planta petroquímica. Eles oferecem excelente eficiência e compatibilidade com a maioria dos materiais e lubrificantes. No entanto, as precauções necessárias para evitar a ignição são significativamente mais caras do que aquelas necessárias para sistemas com R-717. O HC-290 é geralmente semelhante ao HCFC-22 e ao R-717 em termos de temperaturas e pressões de funcionamento e requer compressores de tamanho similar.

5.3.5 R-744 (Dióxido de carbono)

O R-744 não pode ser utilizado exatamente da mesma maneira que outros refrigerantes industriais. Ele deve ser combinado com um refrigerante de temperatura mais elevada em um sistema de cascata, devido à baixa temperatura crítica de 31°C ou então utilizado em um sistema transcrito. Sistemas transcritos têm sido utilizados em sistemas comerciais e pequenos, mas não existem compressores no mercado para fornecer as elevadas pressões de funcionamento necessárias para o funcionamento de um sistema industrial com R-744 desta maneira. Um centro de distribuição de tamanho médio com capacidade instalada de 1.500 kW funciona na Dinamarca desde 2008, usando vários compressores de porte comercial /Mad09/.

O R-744 é particularmente adequado para utilização em sistemas de congelamento, porque fica a uma pressão positiva até -56°C e o gás é extremamente denso, proporcionando taxas muito elevadas de transferência de calor. As características de queda de pressão também são muito favoráveis a baixas temperaturas. Assim, foi constatado que sistemas de congelamento com R-744 são significativamente mais eficazes do que qualquer outra alternativa, inclusive R-717 /Pea09/. Em aplicações de temperatura ligeiramente mais elevada, como armazenagem a frio, sistemas em cascata com R-744 podem ser um pouco menos eficientes que sistemas em dois estágios com R-717, mas ainda empatados com um sistema de estágio único e mais eficientes do que qualquer sistema que utilize um fluido secundário, devido ao custo de bombeamento muito menor para o R-744 em comparação com glicol, salmoura ou outros fluidos de transferência de calor /ASH10/.

Em aplicações de temperaturas mais altas, como o resfriamento de equipamentos de TI, o R-744 é atraente como alternativa para a água gelada, porque não é condutor elétrico, não provoca danos nos tecidos em caso de pequenos vazamentos e permite o uso de trocadores de calor menores. O principal desafio nesses sistemas é que a pressão operacional é de aproximadamente 50 bar.

5.3.6 R-718 (Água)

Em geral, o R-718 não é adequado para a maioria das aplicações industriais, porque o ponto triplo está muito ligeiramente acima 0°C e porque, apesar do calor latente muito elevado, o volume deslocado necessário para uma tarefa de resfriamento típica é extremamente elevado. Há algumas exceções notáveis: O R-718 tem sido usado para alguns projetos de resfriamento em minas profundas em que um sistema de vácuo é usado para criar uma mistura de água sólida e líquida (pasta de gelo) no ponto triplo. Sistemas semelhantes têm sido utilizados para grandes refrigeradores de moldagem de plástico, mas estes sistemas ainda não são totalmente comercializados.

5.3.7 Absorção

Sistemas de absorção que utilizam água e amônia podem ser utilizados para aplicações de baixa temperatura, atingindo facilmente temperaturas de armazenagem a frio. Isso ocorre porque a amônia é usada como refrigerante, com a água como absorvente. Sistemas com brometo de lítio-água (LiBr) só podem ser utilizados acima da temperatura de congelamento, porque a água é o refrigerante, e o LiBr é o absorvente. Sistemas de absorção são eficazes apenas se existe uma abundante fonte de calor a alta temperatura para acionar o sistema. Normalmente, não é econômico queimar combustível fóssil com o único propósito de acionar o regenerador de um sistema de absorção, particularmente em sistemas de baixa temperatura, porque a planta de rejeição de calor é significativamente maior do que em um sistema de compressão de vapor com acionamento elétrico.

Sistemas de absorção são utilizados principalmente para resfriamento em usinas de processamento de alimentos, bebidas, produtos químicos e farmacêuticos, onde o calor residual para ativar o sistema está prontamente disponível. Há um aumento, porém, na indústria de alimentos, quando a geração de energia no local é usada e fornece uma fonte de calor residual. Isso foi observado particularmente em países em desenvolvimento, como a Índia e a China, onde uma maior produção de alimentos está sendo realizada, mas a infraestrutura elétrica ainda é relativamente pouco confiável. Nesses casos, a refrigeração é normalmente conseguida com uma planta de compressão de vapor, mas com algum resfriamento por absorção disponível para aumentar a capacidade de resfriamento quando o gerador está em uso.

5.4 Opções de *retrofit* para equipamentos existentes

Os sistemas que utilizam HCFC-22 foram convertidos para refrigerantes com PDO zero, mas é difícil reproduzir as condições de funcionamento do HCFC-22 e, por isso, as conversões envolvem frequentemente substituição de equipamentos. Antes de se comprometer com a consideração de qualquer projeto de *retrofit* de grande escala, deve-se considerar a idade da planta, o custo de substituição por um sistema mais moderno e eficiente e os riscos para a continuidade do funcionamento do *retrofit*.

5.4.1 Conversão para misturas de HFC

Existem inúmeras misturas para a substituição do HCFC-22 em sistemas DX (com controle de superaquecimento), mas nenhum deles replica a relação temperatura/pressão do HCFC-22 sem variação significativa, e, por isso, essas misturas são muito menos comuns em sistemas inundados em que o fracionamento da mistura é uma preocupação. Quando os sistemas industriais são convertidos para uma mistura, também pode ser necessário mudar o lubrificante mineral ou alquilbenzeno para um éster sintético. Algumas misturas são formuladas com hidrocarbonetos na mistura de modo que, ainda não sendo inflamável, o lubrificante seja mais miscível e menos suscetível a acúmulo no evaporador do sistema. Para um grande sistema inundado, pode ser apropriado converter os compressores e condensadores para uma mistura de HFC, e converter o lado de baixa pressão para um fluido secundário, ou mesmo para o R-744 como um secundário volátil. O *retrofit* de plantas com HCFC-22 em países do Artigo 5 é muito raro hoje.

5.4.2 Conversão para R-744

A elevada pressão de funcionamento de sistemas com R-744 torna altamente improvável que um sistema existente com HCFC-22 possa ser convertido para operar com R-744. A conversão para um sistema em cascata é possível, reduzindo grandemente o inventário de refrigerante fluorcarboneto no sistema. Pode até ser possível reutilizar a tubulação de baixa pressão e evaporadores no sistema, se forem adequadamente classificados. Um sistema de armazenamento refrigerado ou congelado que opera em cascata com R-744 pode ser limitado a uma pressão admissível de 25 bar, porém este é um *retrofit* complexo e é provável que seja mais econômico substituir a planta inteira, especialmente se esta já tiver mais de dez anos de idade.

5.4.3 Conversão para R-717

Em poucos casos, uma planta com HCFC-22 foi convertida para o uso de R-717. Normalmente, os compressores e condensadores são adequados para apenas um dos refrigerantes e a tubulação é provavelmente de aço soldado em aplicações de grandes dimensões. Se os evaporadores são tubos de cobre, eles precisam ser substituídos. É imperativo que o sistema seja cuidadosamente limpo durante a conversão, pois quaisquer vestígios residuais de HCFC-22, por exemplo no lubrificante, reagem com o R-717 e produzem uma espuma sólida que pode bloquear todos os componentes internos. A evacuação tripla com nitrogênio para purga é provavelmente necessária – este é um processo demorado e caro, e, por isso, a substituição deve ser considerada. Na maioria dos casos, em todos os países, equipamentos que usam HCFC-22 não são adequados para esta conversão.

5.4.4 Conversão para hidrocarbonetos

Ao contrário do R-744 e do R-717, é tecnicamente viável remover o HCFC-22 de sistemas existentes e substituí-lo por HC-290. No entanto, é muito provável que o sistema resultante não esteja em conformidade com os códigos de segurança sobre a utilização de hidrocarbonetos, porque a quantidade de refrigerante não cumprirá com as restrições de carga e a infraestrutura elétrica não será adequadamente protegida. Acredita-se que uma conversão desse tipo pode ter sido responsável por um acidente fatal na Nova Zelândia em 2008 /New08/. Uma consequência da rápida eliminação dos HCFCs nos países do Artigo 5 poderia ser um aumento desse tipo de conversão sem controles adequados. Há, no entanto, um argumento a favor da conversão controlada do refrigerante HCFC-22 para HC (propano ou isobutano) nos casos em que a eficiência do sistema pode ser melhorada. Nesse caso, é essencial que medidas de segurança apropriadas sejam asseguradas.

5.5 Visão geral de consumo, bancos e emissões de refrigerantes

É difícil estimar o tamanho dos bancos de CFC, HCFC e HFC associados ao setor industrial, porque a tecnologia é utilizada em uma gama muito ampla de aplicações. Um relatório publicado pela ADEME em 2010 /ADE10/ fornece estimativas com base em dados publicados de diversos setores de alimentos, conforme coletados pela Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas. Esse relatório indicou que a demanda total de refrigerantes no setor industrial era de cerca de 50.000 toneladas, com os HCFCs representando cerca de metade dessa quantidade. O restante da demanda foi de aproximadamente 15.000 toneladas de amônia, 5.000 toneladas de CFCs (principalmente nos países do Artigo 5) e de 5.000 toneladas de HFCs, principalmente na Europa. O tamanho estimado dos bancos de refrigerantes em equipamentos existentes é de 3,5 a 7 vezes a demanda.

As quantidades de emissões por tipo de refrigerante e região também são muito difíceis de estimar. Variam, como percentagem do banco para cada região, de 4% a cerca de 21%, com a exceção das emissões de CFC, que estão estimadas em 27,7% do banco total. Isso é provavelmente resultado da condição do equipamento residual que ainda utiliza CFCs e sugere que há uma forte necessidade de incentivar uma transição para alternativas tão rapidamente quanto possível, desde que o refrigerante antigo seja recuperado e reprocessado.

Um resumo dos valores aproximados para 2006 é fornecido nas tabelas 5-4 a 5-7.

Tabela 5-4: Demanda por refrigerantes em 2006

Demanda (toneladas)	EUA	Europa	Total
CFC	0	0	5.563
HCFC	1.446	1.290	25.372
HFC	1.087	2.405	4.707
R-717	3.845	2.930	15.667

Tabela 5-5: Bancos de refrigerantes em 2006

Bancos (toneladas)	EUA	Europa	Total
CFC	3	13	19.896
HCFC	12.681	15.819	93.985
HFC	7.681	17.498	30.735
R-717	26.401	20.533	105.923

Tabela 5-6: Emissões de refrigerantes em 2006

Emissões (toneladas)	EUA	Europa	Total
CFC	0	0	5.512
HCFC	1.106	1.390	20.229
HFC	628	1.261	2.521
R-717	1.226	800	9.408

Tabela 5-7: Emissão de refrigerantes como percentagem do banco em 2006

Emissões (%)	EUA	Europa	Total
CFC	-	-	27,7%
HCFC	8,7%	8,8%	21,5%
HFC	8,2%	7,2%	8,2%
R-717	4,6%	3,9%	8,9%

É difícil conciliar esses números com outros dados publicados, o que sugere, por exemplo, que o mercado do R-717 em refrigeração é muito maior do que isso. Dadas as características das substâncias, também parece improvável que a taxa de vazamento de R-717, que tem um cheiro característico pungente, seja maior do que a taxa de vazamento de HFCs inodoros.

Outros estudos relatam taxas de vazamento muito maiores para o HFCs, observando que o uso mão-de-obra de baixa qualificação durante a instalação pode resultar em maiores taxas de vazamento durante os primeiros meses de operação, até que todos os problemas sejam resolvidos.

5.6 Requisitos de serviço

Dada a dificuldade de conversão do HCFC-22 para refrigerantes com PDO zero, muitos usuários com múltiplos sistemas planejaram uma estratégia de substituição para conservar seu estoque de refrigerante. Definir prioridades sobre quais sistemas substituir ou converter primeiro inclui a consideração da idade da planta, da probabilidade de vazamentos e da facilidade de conversão. Refrigerantes recuperados de sistemas convertidos podem ser reciclados e armazenados no local para serem usados nas plantas restantes. Na Europa, onde a manutenção com HCFC-22 "virgem" foi proibida no início de 2010, alguns usuários armazenaram refrigerante adicional em bancos realizando uma sobrecarga de suas plantas com o novo HCFC-22, antes do final de 2009 e depois recuperando o excesso de refrigerante, então classificado como reciclados.

Essa prática não está estritamente fora da lei, mas não segue o espírito do regulamento. É muito provável que tenha sido responsável por algumas vendas adicionais de HCFC nos dois anos que antecederam a proibição, mantendo as vendas artificialmente altas em um momento em que muitas plantas estavam sendo convertidas ou desativadas. Se outras regiões implementarem normas semelhantes para a eliminação dos HCFCs, elas devem considerar maneiras de preencher essa lacuna, por exemplo, limitando o tempo que o HCFC recuperado pode ser armazenado antes de ser usado e exigindo que ele seja enviado para destruição ou reprocessamento se não for utilizado dentro do prazo. Isso foi feito na Irlanda, melhorando muito a eficácia da restrição ao HCFC-22 virgem.

5.7 Referências

- /ADE10/ Global inventories of the worldwide fleets of refrigerating and airconditioning equipment in order to determine refrigerant emissions. The 1990 to 2006 updating. ADEME/ARMINES, April 2010
- /ASH09/ Design Considerations for Datacom Equipment Centers, Second Edition, ASHRAE, TC9.9, Atlanta, 2009
- /ASH10/ ASHRAE, "Refrigeration Handbook, chapter 3", Atlanta, 2010
- /Bai06/ Bailer, P. and Pietrucha, U., "Design And Application Of Ammonia Heat Pump Systems For Heating And Cooling Of Non-Residential Buildings" 10th International Symposium on District Heating and Cooling, Hannover, 2006
- /Bra08/ Brasz, J., "Assessment of C6F as a working fluid for Organic Rankine Cycle Applications", Int. Conf. on Refrigeration and Air-Conditioning, Purdue University, 2008
- /Bro92/ Brown, A. H., "Return to Ammonia?" Institute of Refrigeration, London, 1992
- /Hut05/ Hutchins, G., "Mission Critical Cooling" Institute of Refrigeration Annual Conference, London, 2005
- /IIR08/ International Institute of Refrigeration, "Ammonia as a Refrigerant, 3rd Edition", IIR, Paris, 2008
- /Les09/ Leslie, N., Sweetser, R., Zimron, O. and Stovall, T., "Recovered Energy Generation Using an Organic Rankine Cycle System" ASHRAE Transactions Vol. 115 Part 1, Atlanta, 2009
- /Mad09/ Madsen, K "Living without HFCs: the Danish Experience", Institute of Refrigeration, London, 2009
- /Nie00/ Nielsen, P.S., "Effects of Water Contamination in Ammonia Refrigeration Systems, Danfoss, Nordberg, 2000
- /New08/ New Zealand Fire Service Report No F128045 "Inquiry into the Explosion and Fire at Icepak Coolstores, Tamahere, on 5 April 2008", 2008
- /Pea09/ Pearson, A.B., "Calculating Freezing Times in Blast and Plate Freezers", International Institute of Ammonia Refrigeration, Dallas, 2009
- /Ste08/ Stene, J., "Design And Application Of Ammonia Heat Pump Systems For Heating And Cooling Of Non-Residential Buildings" Proc GL2008, IIR, Copenhagen, 2008
- /Suz05/ Suzuki, Takeuchi, Masuda, Watanabe, Shirakashi, Fukuda, Tsuruta, Yamamoto, Koga, Hiruma, Ichioka and Takai. "Test report on effectiveness of magnetic field for food freezing process" Tokyo University of Marine Science and Technology, 2005
- /UNE10/ UNEP Technology and Economic Assessment Panel, Task Force Decision XXI/9 Report, "Assessment of HCFCs and Environmentally Sound Alternatives Paragraph 2C", May 2010
- /Zyh03/ Zyhowski, G., "Opportunities For HFC-245fa Organic Rankine Cycle Appended To Distributed Power Generation Systems", Int Congress of Refrigeration, IIR, Washington DC, 2003

Capítulo 6

Transporte Refrigerado

Autor Principal do Capítulo

Radim ýermák

Coautores

Michael Kauffeld
Alexander C. Pachai

Colaborador

es Yves Wild
Gerald Cavalier
Ruhe Xie
Daniel Colbourne
Petter Nekså

6 Transporte refrigerado

6.1 Introdução

O transporte refrigerado inclui o transporte de produtos refrigerados ou congelados por meio de veículos rodoviários, vagões ferroviários, contêineres intermodais e pequenos contêineres isolados (menos de 2 m³) e baús. Também inclui o uso de refrigeração e ar condicionado em embarcações mercantes, navais e de pesca acima de 100 toneladas de arqueação bruta (AB) (mais de 24 m de comprimento).

Os requisitos técnicos para sistemas de transporte refrigerado são extremamente complexos. O equipamento tem de funcionar em uma ampla gama de temperaturas ambientes e condições climáticas (vento, radiação solar, chuva, spray de água do mar, etc.). O equipamento deve ser capaz de transportar diversos tipos de carga, com necessidades de temperatura diferentes e mesmo temperaturas diferentes simultaneamente em diferentes compartimentos (mais de 20% do mercado europeu de caminhões e carretas).

Todos os sistemas de transporte refrigerado devem ser muito robustos e confiáveis para suportar vibrações e choques. Ao mesmo tempo, os sistemas devem ser compactos, para maximizar o espaço de carga, e leves, para reduzir a energia necessária para mover o veículo.

É imperativo que peças sobressalentes (incluindo refrigerante) estejam disponíveis ao longo das rotas de transporte em todo o mundo. Retornar a um porto pode ser um problema importante para navios marítimos em caso de avaria na planta de refrigeração. Isso deve ser considerado quando mudanças de *design* e melhorias forem feitas e introduzidas. Rigorosos testes devem ser realizados para que somente sistemas comprovadamente confiáveis sejam escolhidos para uso em campo.

Apesar desses esforços, vazamentos de refrigerante inevitavelmente ocorrem nos sistemas de refrigeração por causa de vibrações e choques, e às vezes por causa de colisões com outros objetos. Além disso, condições ambientais severas tendem a acelerar o envelhecimento do equipamento. A vida útil do equipamento é geralmente de 10 a 15 anos para veículos rodoviários, vagões ferroviários e contêineres intermodais, ou menos de 10 anos no caso de uso intensivo, e de 20 a 25 anos para embarcações mercantes, navais e de pesca.

A segurança é a prioridade número um em todos os sistemas de transporte refrigerado, porque profissionais de manutenção treinados e certificados podem não estar disponíveis ao longo das rotas de transporte. A operação segura é particularmente essencial no caso de embarcações marítimas, onde a evacuação é difícil ou impossível. A segurança deve ser inerente aos fluidos ou deve ser assegurada por meio de uma série de medidas técnicas.

6.2 Progresso tecnológico

6.2.1 Embarcações mercantes, navais e de pesca

Há diferenças enormes entre navios em termos de categoria, tonelagem, comprimento, etc. Alguns dos principais mercados são balsas, navios de cruzeiro, navios porta-contêineres, navios frigoríficos, traineiras, barcos-fábrica de pesca, submarinos da marinha, navios da marinha, petroleiros e graneleiros.

O tamanho total de um navio é medido em termos de arqueação bruta, o que também constitui a base para a regulamentação de tripulação, normas de segurança, taxas de registro, etc. Salvo quando afirmado o contrário, os dados apresentados neste relatório são limitados a navios acima de 100 toneladas de arqueação bruta (AB), ou com mais de 24 m de comprimento. Supõe-se que quase todos os navios acima de 100 AB têm sistemas de refrigeração e ar condicionado.

A relação entre a tonelagem, a categoria e o uso de refrigeração (carga de refrigerante) dos navios é difícil de estabelecer, principalmente por causa de limitações de acesso às estatísticas de registro. Em vez disso, embora menos precisas, as estimativas de bancos e emissões são baseadas em vários navios e sua carga média de refrigerante.

Embarcações mercantes (ou comerciais) incluem em princípio navios de carga, navios de passageiros e navios para fins especiais. De acordo com o Equasis /Equ07/, a frota mercante mundial era de 72.000 navios com 780 milhões AB combinados. 86% eram navios de pequeno e médio porte abaixo de 25.000 AB. Cerca de 3.000 navios mercantes tinham mais de 60.000 AB. De acordo com outra fonte, a Revisão do Transporte Marítimo de 2009 /Rev09/, a frota mercante mundial está um pouco abaixo de 100.000 embarcações.

Navios frigoríficos são uma categoria de navios mercantes – utilizados para o transporte de *commodities* perecíveis, como alimentos frescos ou congelados. No final de 2008, a frota total de navios frigoríficos era de cerca de 1.000 /IIR09/. Havia 137 registros de navios frigoríficos na UE em 2009. Previa-se que esse número diminuiria para cerca de 50 até 2020 /Tec09/. Pelo contrário, a proporção de mercadorias transportadas por meio de contêineres intermodais continuará a aumentar, junto com a expansão da frota de navios porta-contêineres /Rev09/.

A frota de navios de guerra é difícil de estimar. A Marinha dos EUA /Nav10/, a maior do mundo, operava 290 navios em serviço ativo em agosto de 2010. Estima-se que a frota mundial de navios de guerra é inferior a 5.000.

Há cerca de 4 milhões de navios de pesca de vários tipos em operação, dos quais um terço têm convés. O tamanho médio dos barcos com convés é de cerca de 20 AB (cerca de 10-15 m). Aqueles com AB maior do que 100 somavam 50.000 unidades. A China tem aproximadamente 50% dessas embarcações maiores /FAO10/. No final de 2009, o Registro de Frota da UE listava cerca de 3.700 navios de pesca com mais de 100 AB /Tec09/.

A regulamentação dos sistemas de refrigeração em navios é tipicamente um direito de Estado de bandeira, o que significa que o proprietário do navio pode mudar o Estado de bandeira caso restrições sejam impostas no atual Estado de bandeira. Por outro lado, se um navio chega a um país onde um grupo de refrigerantes não é permitido, a disponibilidade de refrigerante pode ser um problema em caso de perda de refrigerante.

Em 2009, 93% da frota mercante mundial em termos de tonelagem de porte bruto, ou dwt (= deslocamento do navio carregado menos o peso sem carga) estava registrada sob as bandeiras de 35 países e territórios. A maioria dos registros (por cota de dwt) estava em: Panamá, Libéria, Ilhas Marshall, Hong Kong (China), Grécia, Bahamas, Cingapura e Malta, representando 65% da tonelagem de porte bruto do mundo /Rev09/.

Mais de dois terços dos navios de pesca em operação em 2007 estavam registrados nos mesmos países em que foram construídos. Os países com mais registros de navios de pesca eram: China, Japão, Coreia do Sul, Peru, Federação Russa, Polônia, Espanha e EUA /FAO07 e Ana99/.

As emissões de poluentes atmosféricos provenientes de navios são discutidas no Anexo VI da Convenção sobre Poluição Marinha, MARPOL 73/78, da Organização Marítima Internacional /Mar10/. O Anexo VI da MARPOL (reg 12) proíbe novas instalações que contenham substâncias destruidoras de ozônio em todos os navios a partir de 19 de maio de 2005, mas novas instalações que contenham HCFCs são permitidas até 01 de janeiro de 2020. Em 31 de julho de 2010, havia 60 Estados contratantes que representavam 84 % da tonelagem mundial.

Para os países desenvolvidos, o Protocolo de Montreal introduziu uma regulamentação mais rígida sobre os fluidos HCFC que a MARPOL. Por exemplo, o Regulamento (CE) n.º. 2037/2000 do Parlamento Europeu proíbe o uso de refrigerantes HCFC em novos equipamentos a partir de 2002;

HCFCs são permitidos para a manutenção dos equipamentos existentes apenas até 2015 e apenas com HCFCs reciclados desde o início de 2010.

O HCFC-22 foi o principal refrigerante utilizado a bordo de navios (80% da frota atual). Ele tem sido usado universalmente para sistemas de ar condicionado, refrigeração e congelamento de alimentos para passageiros e tripulantes e na produção em *trawlers* e navios-fábrica. O HFC vem substituindo o HCFC-22 em navios recém-construídos após a eliminação de substâncias destruidoras de ozônio no âmbito do Protocolo de Montreal.

O HFC-134a é a alternativa ao HCFC-22 mais frequentemente utilizada em novas embarcações para ar condicionado e refrigeração. R-404A e R-407C têm sido utilizados principalmente para o *retrofit* de HCFC-22. Novos navios também podem usar R-410A daqui para frente, pois este está se tornando mais difundido em outros campos. O HFC-23 é utilizado para o congelamento a -60°C e abaixo dessa temperatura (principalmente para peixes). Refrigerantes naturais são utilizados em relativamente poucos navios, principalmente em grandes *trawlers* e navios frigoríficos (ver seção 6.4). A cota atual de refrigerantes HFC na frota mundial é estimada em 10%.

A carga de refrigerante típica para navios acima de 100 AB fica entre 100 e 500 kg para sistemas diretos e entre 10 e 100 kg para sistemas indiretos. A taxa anual de vazamento de refrigerante pode chegar a 20-40%.

Há uma tendência de construir menos navios de maior porte, em vez de uma quantidade maior de navios menores em diversas categorias – navios de pesca /Stao07/, petroleiros, graneleiros /Rev09/. Uma razão pode ser o recente aumento dos preços de combustíveis.

6.2.2 Transporte rodoviário

O mercado de refrigeração rodoviária compreende vários segmentos de veículos: pequenos caminhões e furgões com volume de carga abaixo de cerca de 19 m³, caminhões grandes, com volume entre 20 e 59 m³, e reboques e semi-reboques com volume de baú que pode passar de 100 m³. Pequenos caminhões e furgões são utilizados principalmente para a distribuição nas zonas urbanas e suburbanas, enquanto que o transporte de longa distância favorece grandes caminhões e carretas.

A frota mundial total é estimada em 4.000.000 de veículos, dos quais cerca de 30% são carretas, 30% são caminhões de grande porte e 40% são pequenos caminhões e furgões. A parcela pode variar de região para região. Prevê-se, por exemplo, que a frota total de caminhões com temperatura controlada na China chegará a 80.000 em 2010. Estima-se que haja 100.000 caminhões refrigerados no Japão e mais de 100.000 na França. Cada veículo é tipicamente equipado com uma única unidade de refrigeração.

É comum indicar a capacidade de refrigeração máxima em duas ou três condições de operação que representam cargas congeladas e cargas refrigeradas (perecíveis). As condições de classificação exatas variam ligeiramente para diferentes mercados e países: o mercado norte-americano prefere classificar em temperaturas de baú (*box temperatures*) de -17,8°C e 1,7 °C a uma temperatura ambiente de 37,8 °C, enquanto os países comprometidos com o Acordo ATP /Agr10/ preferem as temperaturas de baú de -20°C e 0°C a uma temperatura ambiente de 30°C.

Há 15 anos equipamentos para várias temperaturas são desenvolvidos. Eles permitem que o mesmo veículo com apenas uma unidade de refrigeração transporte produtos a diferentes temperaturas em 2 ou 3 compartimentos. Eles representam mais de 30% do mercado europeu de novos equipamentos e cerca de 20% da frota atual. Alguns operadores compram apenas os equipamentos para várias temperaturas, mesmo que muitas vezes operem em modo de temperatura única.

Se as condições exatas de classificação e o tipo de veículo são negligenciados, a capacidade de refrigeração máxima varia de menos de 500 W até 10 kW para carga congelada e de menos de 1

kW até 20 kW para carga refrigerada.

A capacidade de refrigeração durante o transporte varia de acordo com a carga de calor efetiva. A maioria das unidades é capaz de fornecer aquecimento no baú de carga, geralmente por meio de gás quente (descarga do compressor), energia elétrica ou equipamentos de aquecimento de gás independentes.

A gestão de fornecimento e o gerenciamento da transmissão de energia podem gerar as maiores diferenças no *design* de unidades de refrigeração de carretas, caminhões grandes e pequenos caminhões ou furgões. Unidades de caminhões de pequeno porte são normalmente acionadas diretamente do motor do veículo. Unidades muito pequenas (para furgões) podem ser alimentadas por uma corrente contínua a partir da bateria e do alternador do veículo. Grandes caminhões e carretas são alimentados por um motor independente, geralmente a diesel, que é integrado dentro da unidade. A fim de eliminar as emissões de escapamento, a maioria das unidades inclui também um motor elétrico que pode acionar o compressor da rede elétrica em paradas. A energia pode ser transmitida do motor para as cargas mecânica ou eletricamente. A solução mecânica depende do acoplamento mecânico entre o motor e um compressor aberto, enquanto na solução elétrica o motor aciona um gerador que alimenta um compressor hermético ou semi-hermético e motores de ventiladores. O uso do compressor hermético reduz significativamente vazamentos de refrigerante, com benefícios óbvios.

As cargas de refrigerante estão entre várias centenas de gramas e 10 kg, geralmente com menos de 6 kg para caminhões pequenos e grandes. Embora as unidades de caminhões pequenos tenham menor capacidade do que as unidades de caminhões de grandes dimensões, elas incluem mangueiras de refrigerante que ligam a unidade ao compressor montado no bloco do motor. Carretas podem ter uma carga de refrigerante típica de cerca de 7,5 kg. Os refrigerantes normalmente usados são R-404A e HFC-134a, mas também R-410A ou R-407C.

Há um esforço em curso na indústria para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Isso está sendo realizado por meio de uma série de medidas complementares, incluindo alterações de *design* que melhoram a eficiência energética, redução da carga de refrigerante e das taxas de vazamento de refrigerante, uso de refrigerantes com baixo PAG e transição dos sistemas de alimentação dos motores a diesel tradicionais para sistemas alternativos de propulsão (híbridos, elétricos, etc.).

6.2.3 Vagões ferroviários

Em escala global, vagões frigoríficos se tornaram um tipo muito raro de veículo utilizado para o transporte de produtos perecíveis e congelados. Há uma clara e definida tendência a substituir os vagões refrigerados por baús móveis ou contêineres intermodais refrigerados que podem ser, se vagões ferroviários forem usados, colocados sobre um carro plano. Em alguns países, dois contêineres podem ser transportados em um vagão (um sobre o outro). O transporte ferroviário é usado principalmente para distâncias longas.

Estima-se que existam não mais que 20.000 vagões refrigerados utilizados em todo o mundo (7.000 na antiga União Soviética, 2.000 na China, 7.000 nos EUA, 2.000 na União Europeia e 2.000 no resto do mundo). Isso representa aproximadamente um quinto da demanda mundial por novos contêineres intermodais refrigerados em um ano.

Uma fábrica na Alemanha Oriental exportou, desde 1945, cerca de 42.000 vagões para a antiga União Soviética e mais de 12.000 vagões para a China e outros Estados da Europa /Kue09/. Hoje, uma empresa líder do mercado russo de transporte de produtos perecíveis opera 3.500 vagões refrigerados /Ref09/. Na China, a produção de vagões refrigerados com gelo de água foi encerrada em 1993, a produção de vagões refrigerados mecanicamente foi encerrada em 2003 e a frota está sendo gradualmente substituída. Atualmente, existem cerca de 2.000 carros com 4.000 unidades de refrigeração em operação na Europa. Uma rede europeia denominada Interfrigo informou apenas 285 vagões refrigerados em 2002 /Sch09/. Em 1987, a Interfrigo costumava gerenciar cerca de 19.000 vagões de todos os tipos. Alguns vagões ainda podem ser operados por companhias de estrada de ferro europeias individuais. Nos EUA, estima-se que o fornecimento de vagões refrigerados tenha caído de cerca de 19.000 em 1980 para cerca de 5.000 em 1990 /Hil80/.

De acordo com /All00/, uma grande empresa ferroviária gerenciava 5.200 vagões refrigerados, constituindo cerca de 70% de toda a frota dos Estados Unidos em 2000.

Todos os vagões refrigerados mecanicamente em serviço utilizam o ciclo de compressão de vapor. Em termos de *design*, os sistemas de refrigeração são semelhantes aos utilizados no transporte rodoviário e em contêineres intermodais. Os refrigerantes utilizados foram CFC, HCFC, e HFC para os sistemas mais novos. Na China, o CFC-12 está passando por uma substituição gradual pelo HCFC-22 desde 2008. Mais de dez vagões refrigerados de placas eutéticas foram fabricados na China, mas eles não avançaram para a produção em série.

Nem todos os vagões utilizados para o transporte de produtos perecíveis e congelados são refrigerados mecanicamente. Muitos vagões usam gelo de água para manter a temperatura – são dependentes de bancos de gelo ao longo de suas rotas. Muitos carros são apenas isolados. Nenhum desses tipos foi considerado nesta seção.

6.2.4 Contêineres Intermodais

O tamanho dos contêineres intermodais refrigerados foi padronizado /ISO08/. O valor da carga mais pesada limitou o tamanho dos primeiros contêineres a cerca de 6 m (20 pés). Como a maioria da carga é um pouco mais leve, contêineres de 12 m (40 pés) foram desenvolvidos. Contêineres de 40 pés são usados atualmente em maior medida do que contêineres de 20 pés. Os contêineres diferem também em altura, mas essa diferença é pequena se comparada ao comprimento.

O volume de carga transportada é normalmente expresso em termos de Unidades Equivalentes a Vinte Pés (em inglês, *Twenty-foot Equivalent Units* ou TEU). Um contêiner de 40 pés é igual a aproximadamente 2 TEU, mas é refrigerado por um sistema de refrigeração único, da mesma forma que um contêiner de 20 pés. A diferença no tamanho torna difícil estimar a frota global, porque as estatísticas geralmente descrevem a TEU total independentemente do tamanho do contêiner.

Dados de contêineres intermodais refrigerados estão disponíveis apenas sobre aqueles que ainda estão sendo utilizados no tráfego oceânico. Não se sabe quantos contêineres frigoríficos ainda estão em uso em aplicações em terra depois de serem retirados do tráfego oceânico.

Em 2009, havia cerca de 150.000 unidades de contêineres de 20 pés e 800.000 unidades de contêineres de 40 pés em uso. O número total de unidades em operação era, portanto, 950.000 (ou 1.750.000 TEU). No início de 2009 /Rev09/, havia 4.638 navios de contêineres totalmente celulares, com capacidade total de 12 milhões de TEU (toda a carga, não apenas refrigerada). Até 100.000 novos contêineres refrigerados foram construídos anualmente até o ano de 2007. Esse número caiu como consequência da recessão econômica mundial nos anos seguintes de 2007.

O ciclo de compressão de vapor é a única tecnologia usada em contêineres intermodais refrigerados. Os primeiros sistemas utilizavam refrigerantes CFC e alguns refrigerantes HCFC, mas novos sistemas hoje utilizam apenas HFC-134a ou a mistura de HFC R-404A (aproximadamente 10-15%). Quatro fabricantes dominam o mercado global.

Todas as unidades de contêineres são ativadas por eletricidade devido à disponibilidade de rede elétrica em navios. Quando usados em terra (carretas, vagões planos, etc.), a eletricidade é fornecida a partir da rede elétrica ou a partir de um conjunto gerador de motor a diesel montado na parte da frente da unidade ou da carreta.

Os desempenhos de refrigeração podem ser testados de acordo com a norma ISO 1496-2:2008. A capacidade de refrigeração máxima é geralmente registrada em três condições operacionais que representam cargas congeladas e cargas refrigeradas (perecíveis). A capacidade de refrigeração máxima é de cerca de 4 kW a uma temperatura de baú de -29°C, cerca de 6 kW a uma temperatura de baú de -18°C e cerca de 12 kW a uma temperatura de baú de 2°C, todos classificados na temperatura ambiente de 38°C. Todas as unidades são capazes de transportar qualquer tipo de carga em qualquer clima. Isso significa que tanto a refrigeração quanto o aquecimento devem ser fornecidos.

Cerca de 60% de novas unidades são equipadas com compressores *scroll* herméticos que oferecem muitas vantagens, incluindo a confiabilidade, estanqueidade, baixo peso, tamanho pequeno e baixo ruído. A tecnologia atual apresenta reduzidas taxas de refrigerante e emissões. A carga de refrigerante típica está é de 3,8 kg a 5,3 kg por unidade, com uma média de cerca de 4,5 kg.

Nos últimos anos, houve esforços consideráveis para reduzir o consumo de energia de contêineres, a fim de reduzir o consumo de combustível e as emissões de dióxido de carbono. O controlador reduz a quantidade de ar circulado no interior do contêiner, reduzindo assim a potência do ventilador e, conseqüentemente, a potência do compressor. Por exemplo, os ventiladores giram entre a velocidade média e total, em vez de girarem sempre em velocidade máxima, ou são temporariamente desligados por inteiro.

Contêineres do tipo com vigia (*porthole*) (contêineres isolados, ventilados por ar refrigerado central) não estão mais em operação e não são construídos novos contêineres com vigia nem navios porta-contêineres com vigia. Os últimos navios que ofereciam capacidades de refrigeração para contêineres com vigia foram convertidos para o transporte de contêineres equipados com uma unidade de refrigeração integral.

A China se tornou a maior produtora de contêineres marítimos isolados (pequenas produções permanecem no mundo; por exemplo, na França, dois fabricantes produzem contêineres para aplicações militares ou de ONGs). Há três produtores chineses com capacidade máxima de produção anual de 230.000 TEU.

6.2.5 Pequenos contêineres e baús

O número de pequenos contêineres pode ser equivalente ao número de outros equipamentos em muitos países europeus. Em média, eles transportam uma carga de até algumas centenas de quilogramas. São refrigerados, principalmente, com dióxido de carbono sólido, mas também com placas eutéticas ou pequenas unidades de absorção ou compressão de vapor.

Os baús geralmente não são reutilizáveis e são refrigerados com varas eutéticas ou dióxido de carbono sólido. Eles são amplamente utilizadas para o transporte de produtos farmacêuticos e amostras de produtos alimentares. Seu uso é crescente para a distribuição direta ao consumidor de produtos comprados on-line. A refrigeração por meio de pasta de gelo entre paredes duplas de pequenos contêineres e baús está em desenvolvimento.

6.3 Opções de refrigerante para equipamentos existentes

Todos os novos contêineres intermodais, a maioria dos veículos rodoviários e vagões e muitos novos navios mercantes e de pesca usam equipamentos com fluidos refrigerantes HFC. Os refrigerantes HCFC são utilizados em sistemas a bordo de navios e em equipamentos rodoviários e ferroviários mais antigos. Para fazer o *retrofit* de refrigerantes HCFC, apenas algumas opções de refrigerante poderão ser aplicadas nos transportes devido à infraestrutura de serviço necessária e ao uso comum dos fluidos de trabalho.

No transporte rodoviário, R-408A, que contém 47% de HCFC-22, é uma solução de *retrofit* para as unidades que atualmente usam R-502. O *retrofit* para R-408A muitas vezes melhora a capacidade e a eficiência do sistema, embora a pressão do cabeçote do compressor possa aumentar ligeiramente em alta temperatura ambiente. É importante que os sistemas que operam com R-502 e óleos minerais possam continuar a utilizar óleos minerais desde que o óleo retorne adequadamente para o compressor. Se não, alquilbenzeno ou POE podem ser adicionados (ou usados sozinhos) para melhorar a miscibilidade e o retorno do óleo. Os componentes do sistema não precisam ser trocados no momento do *retrofit*.

O R-402A, que contém 38% de HCFC-22, foi utilizado como substituto para *retrofit* do R-502 na segunda metade da década de 1990 nos EUA e pode ainda ser utilizado em alguns países.

Em vez de R-408A ou R-402A, pode ser mais apropriado para alguns operadores fazer o *retrofit* com R-404A. Embora o R-404A se comporte como o R-502, vários componentes, inclusive o compressor, podem precisar ser substituídos devido à capacidade de lubrificação inferior do lubrificante POE em comparação com o alquilbenzeno e às pressões de operação marginalmente mais elevadas do R-404A. No entanto, sendo uma mistura de HFC, o R-404A é uma solução de mais longo prazo que o R-408A.

A bordo de navios, R-407C e R-404A são usados mais frequentemente para substituir o HCFC-22 em sistemas existentes. Esses refrigerantes têm menor eficiência energética, mas a eficiência não parecia ser uma preocupação importante para os proprietários de navios muitos anos atrás. Às vezes o HFC-134a é utilizado para o *retrofit* de HCFC -22 com o custo de perda de cerca de 30% da capacidade de refrigeração.

Nenhum refrigerante natural pode ser usado para substituir o HCFC-22 sem a remodelação de todo o sistema de refrigeração. A remodelação é muitas vezes impossível devido ao layout e ao tamanho dos equipamentos de refrigeração existentes.

6.4 Opções de refrigerante para novos equipamentos

O ciclo de compressão de vapor continuará a ser o princípio dominante de unidades de refrigeração no transporte. HFCs continuarão a ser as opções preferidas de refrigerante. Recentemente, ocorreram discussões sobre o uso de vários novos refrigerantes fluorados, como HFC-1234yf. Essas oportunidades não foram consideradas no presente relatório. Até o momento, não foram utilizadas comercialmente e, por isso, não há experiências práticas disponíveis.

Refrigerantes não fluorados têm recebido grande atenção na última década e, em vários casos, amostras operacionais foram testadas e apresentadas ao público. No entanto, várias limitações técnicas, jurídicas, financeiras, logísticas e de manutenção, entre outras, ainda impedem uma maior aplicação dessas novas tecnologias na prática. A maioria das aplicações de refrigerantes não fluorados podem ser encontradas a bordo de embarcações marítimas.

Hidrocarbonetos

Embora os hidrocarbonetos sejam tecnicamente viáveis e possam até mesmo superar os sistemas de HFC em desempenho, a inflamabilidade gera preocupações a respeito de seu uso /Cor08/. Quando inexistentes, normas precisam ser desenvolvidas para tratar das questões de segurança.

Esforços estão sendo realizados para reduzir a carga de refrigerante através de sistemas indiretos e trocadores de calor compactos, colocação das unidades ao ar livre, sensores e alarmes de vazamento e ventilação forçada /Pal08/. Os sistemas indiretos são muitas vezes penalizados com menor eficiência global (maior consumo de combustível), maior complexidade (confiabilidade e custo de manutenção), maior peso (consumo de combustível) e maior tamanho (espaço de carga), se comparados com os sistemas diretos de expansão.

Equipamentos com cargas de hidrocarbonetos superiores a 1 kg são, em geral, possíveis apenas se todos os componentes com refrigerante são colocados ao ar livre ou em uma sala de máquinas especial. Como esses requisitos não podem ser cumpridos a bordo de embarcações marítimas, refrigerantes HC provavelmente não serão usados para essas aplicações.

Os HCs estão sendo testados em caminhões e furgões de entrega em casa na Grã-Bretanha e na Alemanha, sugerindo que seu uso pode crescer.

Dióxido de carbono

O dióxido de carbono (CO₂, R-744) tem a vantagem de ser amplamente disponível em todo o mundo, mas deve ultrapassar vários desafios antes que sua utilização em transporte refrigerado seja possível. Em operação de alta temperatura ambiente, ciclos de refrigeração sofisticados (ciclos de duas fases, dispositivos de recuperação de energia, etc.) são necessários para ter eficiência de sistema correspondente à de unidades com HFC equivalentes. A operação do ciclo é quase sempre transcritical, o que resulta em pressões de descarga do compressor até 7 vezes mais elevadas do que aquelas em sistemas com HFC. Portanto, peças, abordagens de projeto, procedimentos de teste e treinamento de serviço inteiramente novos são necessários para projetar, construir e operar um sistema transcritical com R-744. A capacidade de usar R-744 para aquecimento em um ciclo de bomba de calor pode ser vantajosa devido à eficiência e à capacidade que podem ser atingidas.

A bordo de navios, R-744 tem sido utilizado no estado subcritical, seja como refrigerante com compressores próprios (segundo estágio em um sistema em cascata) ou como refrigerante secundário distribuído por bombas. Possui excelentes propriedades termodinâmicas. Quando usado no segundo estágio, pode cobrir todo o intervalo de temperatura entre -10 e -50°C. HFCs ou amônia são utilizados no primeiro estágio.

O R-744 tem um limite de temperatura baixa de cerca de -54°C e, por isso, não pode ser usado, por exemplo, no mercado japonês, com requisitos para congelamento de peixe a -60°C. Além disso, R-744 no estado subcritical é adequado para navios, especialmente porque não é inflamável e não forma produtos agressivos ou tóxicos em contato com superfícies quentes. Foi relatado /Tec09/ que sistemas com R-744 utilizados no segundo estágio para congelamento de peixe e em navios frigoríficos conseguiram economizar até 25% do consumo de energia em relação a sistemas com HCFC-22 de um único estágio.

Atualmente, não há soluções comerciais com CO₂ transcritical no mercado para transporte refrigerado. Pelo menos um fabricante afirma realizar testes de campo de unidades com R-744 transcritical para contêineres marítimos em toda sua faixa de operação. Uma carreta com uma unidade de R-744 transcritical foi apresentada em uma feira de comércio internacional recente. Portanto, é possível que soluções comerciais estejam disponíveis dentro de alguns anos. Uma vez que compressores, trocadores de calor e outras peças têm requisitos especiais em termos de robustez, peso, resistência à corrosão, etc., deve ser realizada uma verificação de desempenho vigorosa para qualificar esses sistemas para comercialização. Além disso, a eficiência energética no modo de operação transcritical deve ser melhorada para aplicações de clima quente.

Amônia

A toxicidade e a inflamabilidade fazem da amônia (NH₃, R-717) uma opção difícil entre os refrigerantes alternativos para veículos rodoviários, vagões ferroviários e contêineres intermodais. A situação é diferente para embarcações marítimas.

A partir de 2001, o NH₃ começou a ser utilizado em embarcações de pesca e em grandes navios frigoríficos em sistemas indiretos e em cascata. Ao mesmo tempo, órgãos de classificação e autoridades foram abandonando suas reservas em relação ao NH₃, especialmente se apenas pessoal profissional está a bordo. No que diz respeito aos novos navios de pesca e navios frigoríficos, o NH₃ atualmente tem maior importância que os HFCs /Tec09/.

O uso de sistemas com NH₃ é limitado a (1) navios que não transportam passageiros, mas apenas tripulação profissional e (2) navios com capacidade de refrigeração relativamente elevada (barcos de pesca > 36 m) por razões de eficiência energética, segurança e espaço. Portanto, o uso de fluidos refrigerantes HFC vai continuar em navios de cruzeiro e de passageiros e, em geral, em pequenas embarcações de todas as categorias.

Sistemas descontínuos

Sistemas criogênicos (*open-loop*) são aplicados em caminhões pequenos e grandes. Em um sistema, o CO₂ líquido ou N₂ é armazenado em um tanque isolado e injetado em um evaporador através de um motor de vapor que aciona um ventilador. Outros sistemas injetam N₂ líquido para dentro do espaço de carga, enquanto deslocam O₂. Tais sistemas requerem mecanismos de segurança e equipamentos complexos de extração de gás para proteger operadores (risco de asfixia). Todos os sistemas criogênicos necessitam de recarga com líquido de arrefecimento. Por outro lado, oferecem baixo nível de ruído, manutenção reduzida e excelente desempenho de refrigeração (*pull-down* rápido), que os tornam excelentes sistemas para veículos utilizados em cadeias de distribuição local. Dois aspectos devem ser considerados em análises de energia: o consumo de líquido de arrefecimento é proporcional à necessidade de refrigeração (motores a diesel possuem sempre um consumo mínimo), mas é necessária energia para produzir os líquidos de arrefecimento.

Placas eutéticas são por vezes utilizadas em veículos de distribuição de distâncias curtas. Elas são baseadas em uma solução de sal congelada, que, ao mesmo tempo em que se derrete, remove calor do ambiente e fornece refrigeração. Sua baixa capacidade de *pull-down* e uma gestão de temperatura um pouco inflexível as tornam especialmente adequadas para distribuição de produtos congelados. Embora precisem ser regeneradas periodicamente (por congelamento em um sistema de refrigeração mecânica externa), oferecem baixo nível de ruído e quase não exigem manutenção.

Outros sistemas

Sistemas em cascata para caminhões, que combinam um sistema de adsorção movido por calor e um ciclo de compressão de vapor ainda estão em desenvolvimento. Outras alternativas também foram consideradas no transporte rodoviário, mas não foram levadas adiante por vários motivos. Sistemas de adsorção e absorção também estão sendo avaliados.

6.5 Recuperação, reutilização e destruição de refrigerantes

A manipulação de refrigerantes usados inclui a recuperação, a reciclagem, a regeneração e a destruição. Todas ou qualquer uma dessas etapas podem ser exigidas pela legislação nacional. Em muitos países, no entanto, tais exigências não existem. Embora medidas voluntárias às vezes possam ser implementadas, haverá ainda uma oportunidade de melhoria em muitos países enquanto medidas legais ou monetárias (incentivos ou impostos para compensar o custo de reciclagem, regeneração ou destruição) não estiverem em vigor.

6.6 Dados sobre bancos e emissões

As estimativas de bancos de refrigerante aproximados e das emissões em transporte refrigerado estão resumidas nas Tabelas 6-1 e 6-2 (arredondadas para 10). Os dados são baseados em estimativas de tamanho da frota, carga de refrigerante por sistema, parcela do refrigerante na frota e emissões de refrigerante por sistema, que são apresentadas nas Tabelas 6-3 a 6-5.

Exceto para embarcações marítimas, os bancos de refrigerante totais não diferem substancialmente dos dados apresentados no relatório de avaliação anterior, de 2006. Eventuais diferenças são causadas principalmente pela variação em parte da fonte dos dados (Tabelas 6-3 a 6-5). Os bancos relatados para embarcações são mais elevados também devido ao fato de que o escopo foi expandido para pequenos barcos a partir de 100 AB. A avaliação de 2006 considerou apenas navios mercantes, navais e de pesca acima de 300 AB.

Tabela 6-1: Estimativa dos bancos de refrigerantes

	CFC	HCFC	HFC	R-717	R-744	TOTAL
Navios mercantes, navais e de pesca	2500	21900	2730	20	110	27260
Veículos rodoviários	160	4860	14380	0	0	19400
Vagões ferroviários	20	210	80	0	0	310
Contêineres interm.	0	210	4060	0	0	4270
TOTAL	2680	27180	21250	20	110	51240

Tabela 6-2: Estimativa das emissões de refrigerantes

	CFC	HCFC	HFC	R-717	R-744	TOTAL
Navios mercantes, navais e de pesca	1000	6570	270	0	10	7850
Veículos rodoviários	50	970	1440	0	0	2460
Vagões ferroviários	0	40	10	0	0	50
Contêineres interm.	0	40	200	0	0	240
TOTAL	1050	7620	1920	0	10	10600

Tabela 6-3: Estimativa de tamanho da frota e carga de refrigerante

Categoria	Tipo de sistema	Cota	Frota	Carga de refr. (kg)
Navios mercantes	Direto	90%	90000	200
	Indireto	10%	10000	50
Navios de guerra	Direto	100%	5000	200
	Indireto	0%	0	50
Navios de pesca	Direto	70%	35000	200
	Indireto	30%	15000	50
Pequenos caminhões	Com correias	40%	1600000	2
Grandes caminhões	Independente	30%	1200000	6
Carretas		30%	1200000	7.5
Vagões ferroviários		100%	20000	15
Contêineres interm.		100%	950000	4.5

Tipo de sistema: Direto = expansão direta; Indireto = Loop secundário

Tabela 6-4: Estimativa da participação de refrigerantes

Categoria	Tipo de sistema	CFC-11	CFC-12	HCFC-22	R-502	R-408^a	HFC-134a	R-404A	R-407C	R-717	R-744
Navios mercante	Direto	5%	5%	80%			7%	2%	1%		
	Indireto			80%			5%	5%			10%
Navios de guerra	Direto			90%			10%				
	Indireto										
Navios de pesca	Direto	5%	5%	80%			6%	2%	1%		
	Indireto			80%			5%	5%		2%	8%
Peqs. caminhões	Com correias		5%				85%	10%			
Gdes. caminhões	Independente			20%	5%	5%		70%			
Carretas				20%	5%	5%		70%			
Vagões ferrov.			5%	70%			5%	20%			
Contêineres interm.				5%			85%	10%			

Tipo de sistema: Direto = expansão direta; Indireto = loop secundário

Tabela 6-5: Estimativa de emissões de refrigerante em % da carga, por ano, incluindo vazamentos, perda de carga total devido a rupturas, perdas de manutenção e perdas em fim de vida.

Categoria	Tipo de sistema	CFC-11	CFC-12	HCFC-22	R-502	R-408A	HFC-134a	R-404A	R-407C	R-717	R-744
Navios mercantes	Direto	40%	40%	30%			10%	10%	10%		
	Indireto			30%				10%			10%
Navios de guerra	Direto			30%			10%				
	Indireto										
Navios de pesca	Direto	40%	40%	30%			10%	10%	10%		
	Indireto			30%				10%		5%	10%
Peqs. caminhões	Com correias		30%				10%	10%			
Gdes. caminhões	Independente			20%	20%	20%		10%			
Carretas				20%	20%	20%		10%			
Vagões ferrov.			30%	20%			10%	10%			
Contêineres interm.				20%			5%	5%			

Tipo de sistema: Direto = expansão direta; Indireto = loop secundário

6.7 Referências

- /Agr10/ Agreement on the international carriage of perishable foodstuff and on the special equipment to be used for such carriage (ATP), United Nations, New York and Geneva, 2010, <http://www.unece.org/trans/main/wp11/atp.html>
- /All00/ <http://www.allbusiness.com/sales/customer-service-product-knowledge/677599-1.html>, January 2010
- /Ana99/ Analyses of the vessels over 100 tons in the global fishing fleet, FAO Fisheries Circular No. 949, 1999, <http://www.fao.org/docrep/005/X4360E/X4360E00.HTM>
- /Cor08/ Corberan, J. M., Segurado, J., Colbourne, D. and J. Gonzalez, Review of standards for the use of hydrocarbon refrigerants in A/C, heat pump and refrigeration equipment, International Journal of Refrigeration, 31(4), June 2008, 748-756
- /Equ07/ Equasis statistics – The world merchant fleet in 2007, <http://www.equasis.org>, August 2010
- /FAO10/ Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://www.fao.org/fishery/en>, August 2010
- /Hil80/ Hill, R. P., Refrigerated railcars supply and demand, Speech presented to the AFFI-IARW Refrigerator Railcar Task Force, St Paul. Minn (1980)
- /IIR09/ IIR Newsletter, July 2009, International Institute of Refrigeration, Paris, France (referring to Fruit World International 1/2009)
- /ISO08/ ISO 1496-2:2008 Series 1 freight containers -- Specification and testing -- Part 2: Thermal containers, ISO 2008
- /Kue09/ <http://www.kuehlwaggon.de>, January 2010
- /Mar10/ Marine Pollution Convention, MARPOL 73/78, Annex VI, http://www.imo.org/Conventions/mainframe.asp?topic_id=148
- /Nav10/ http://www.navy.mil/navydata/navy_legacy_hr.asp?id=146, August 2010
- /Pal08/ Palm B., Hydrocarbons as refrigerants in small heat pump and refrigeration systems – A review, International Journal of Refrigeration, 31(4), June 2008, 552-563
- /Ref09/ <http://www.refservice.ru/en/>, January 2010
- /Rev09/ Review of maritime transport, United Nations Conference on Trade and Development, New York and Geneva, 2009, <http://www.unctad.org>
- /Sch09/ Schiffer V. – private communication, with reference to Gueterwagen-correspondenz Nr. 90 – 3/2002, 2009
- /Sta07/ The state of world fisheries and aquaculture 2006, FAO 2007, <http://www.fao.org/docrep/009/a0699e/a0699e00.HTM>
- /Tec09/ Technical support for European action to reducing Greenhouse Gas Emissions from international maritime transport, December 2009, <http://ec.europa.eu/environment/air/transport/ships.htm>

Condicionadores de ar e bombas de calor ar-ar

Autor Principal do Capítulo

Fred J. Keller

Coautores

Daniel Colbourne

Sukmar Devotta

Autores revisores

Radhey Agarwal

Jim Crawford

Martin Dieryckx

Makoto Kaibara

Ed McInerney

Petter Nekså

Horace A. Nelson

Paulo Vodianitskaia

7 Condicionadores de ar e bombas de calor ar-ar

7.1 Introdução

Em termos globais, os condicionadores de ar, incluindo bombas de calor reversíveis para aquecimento de ar (geralmente definidas como "bombas de calor reversíveis") que variam em tamanho de 2,0 kW a 420 kW compreendem a grande maioria do mercado de ar condicionado (a maioria é inferior a 35 kW). No restante deste capítulo, o termo "ar condicionado" será usado para ambos os condicionadores de ar e as bombas de calor ar-ar que aquecem o ar diretamente. Esta ampla categoria é às vezes referida como equipamentos *refrigerados a ar (com condensação a ar)* ou *unitários* /ASH08/. Estes sistemas resfriam e/ou aquecem espaços fechados que vão desde salas individuais a grandes salas de exposições. Essencialmente, a maioria é de sistemas de compressão de vapor acionados por eletricidade que usam compressores herméticos rotativos, alternativos ou *scroll* para as unidades com capacidades de até cerca de 100 kW e um ou vários compressores semi-herméticos alternativos, *scroll* ou de parafusos para unidades com capacidades de até 400 kW. O ar no espaço passa por uma serpentina que contém o refrigerante em evaporação. A transferência de calor ocorre entre o ar e o refrigerante que circula. Com os sistemas de bombas de calor, os papéis do evaporador e do condensador podem ser invertidos para proporcionar tanto aquecimento quanto resfriamento. No modo de aquecimento, o ar do espaço condicionado passa pela mesma serpentina que agora contém refrigerante que passa por condensação, assim transferindo calor para o ar.

Em 2008, cerca de 553 milhões de condicionadores de ar com HCFC-22 estavam em uso em todo o mundo. As quantidades de carga de refrigerante variam mais ou menos proporcionalmente à capacidade. Esses 553 milhões de unidades representam um banco instalado de cerca de um milhão de toneladas métricas de HCFC-22.

Quase todos os aparelhos de ar condicionado fabricados antes de 2000 usavam HCFC-22. A transição do HCFC-22 para outros produtos está quase concluída nos países desenvolvidos. A eliminação do HCFC-22 na fabricação de novos produtos na UE foi concluída em 2004. A eliminação do HCFC-22 foi praticamente concluída (95%) na fabricação de novos produtos no Japão, em 2004, com o restante ocorrendo em 2009. A eliminação do HCFC-22, em novos sistemas na América do Norte foi concluída em 2009. No entanto, é importante notar que as opções tecnológicas disponíveis no momento da eliminação nesses países eram focadas ambientalmente na proteção da camada de ozônio e não na redução das emissões equivalentes de CO₂. Alguns países não incluídos no Artigo 5 começaram a transição para alternativas não PDO antes das datas de compromisso do Protocolo de Montreal. Aproximadamente 85% da população de unidades instaladas atualmente usa HCFC-22 e aproximadamente 32% das unidades produzidas globalmente em 2008 usavam refrigerantes não PDO. Em 2006, a demanda mundial por HFC representava cerca de 9% da demanda total de refrigerante para essas categorias de produtos /Sab09/.

7.2 Aplicações

Os condicionadores de ar geralmente se enquadram em quatro categorias distintas, com base principalmente em capacidade ou aplicação: pequenos condicionadores de ar do tipo *self-contained* (condicionadores de ar montados na janela ou através da parede), condicionadores de ar residenciais e comerciais tipo *split* sem dutos; condicionadores de ar residenciais tipo *split* com dutos e condicionadores de ar comerciais tipo *split* ou compactos (*packaged*) com dutos (ar refrigerado comercial) /ASH07/, /ASH08/. Em cada uma dessas categorias, o termo "ar condicionado" inclui os sistemas que resfriam ou aquecem diretamente o ar condicionado.

7.2.1 Pequenos condicionadores de ar *self-contained*

Condicionadores de ar *self-contained* pequenos (SSC) são condicionadores de ar de pequena capacidade em que todos os componentes do sistema de refrigeração estão contidos em uma única unidade. Esses produtos têm capacidades de resfriamento que variam tipicamente de 1,0 kW a 10,5 kW.

- Condicionador de ar de ambiente montado na janela,
- Condicionador de ar de parede
- Condicionador de ar portátil¹
- Condicionador de ar terminal compacto (PTAC).

Pequenos condicionadores de ar *self-contained* são projetados para aquecer ou resfriar espaços únicos, como quartos ou pequenos escritórios. Pequenos condicionadores de ar *self-contained*, por causa de seu tamanho e custo relativamente baixo, são muitas vezes os primeiros sistemas para conforto individual a aparecer em novos mercados de condicionamento de ar. No entanto, dados de vendas globais do produto indicam que condicionadores de ar tipo *split* sem dutos são selecionados cada vez com mais frequência como a primeira opção de ar condicionado de conforto na maioria dos países – resultando em um declínio global na demanda por condicionadores de ar de janela e de parede /JARN08/, /AHRI08/.

Pequenos condicionadores de ar *self-contained* têm capacidades que variam de menos de 1,0 kW a cerca de 10,5 kW (com média de 2,7 kW). Esses sistemas têm níveis médios de carga de refrigerante de cerca de 0,25 kg por kW de capacidade de refrigeração. Todos usam compressores herméticos rotativos, alternativo ou *scroll*, sendo que a maioria usa compressores rotativos herméticos.

Ao longo dos anos, a maioria dos pequenos condicionadores de ar *self-contained* usou refrigerante HCFC-22. Conforme refrigerantes não PDO começaram a ser aplicados a esses produtos, a maioria passou a usar misturas de HFC. Uma pequena quantidade de unidades (cerca de 100.000 unidades portáteis por ano) usa hidrocarbonetos /UNEP05/.

7.2.2 Condicionadores de ar residenciais e comerciais tipo *split* sem dutos

Em muitas partes do mundo, o condicionamento de ar residencial e comercial leve é feito com condicionadores de ar tipo *split* sem dutos. Condicionadores de ar tipo *split* sem dutos podem ser aplicados em edifícios comerciais, escolas, apartamentos e residências individuais. Condicionadores de ar tipo *split* sem dutos incluem uma unidade de compressor/trocador de calor (unidade de condensação) instalada fora do espaço a ser resfriado ou aquecido. A unidade externa está ligada através da tubulação do refrigerante a uma ou mais serpentinas com ventilador (*fan coil*) localizadas no interior do espaço condicionado (evaporadores). *Splits* simples muitas vezes posicionam o dispositivo de expansão também no interior da unidade de condensação/exterior.

Os produtos sem dutos podem ser subdivididos em duas subcategorias: *split* simples e multi-*split*. Com os produtos de *split* simples, uma unidade única serpentina está ligada a uma unidade de condensação externa. Condicionadores de ar tipo *split* pequenos (menos de 7 kW) sem dutos com uma única serpentina interna são muitas vezes referidos como o tipo de *split* dos condicionadores de ar de ambiente. Em sistemas multi-*split*, uma única unidade de condensação externa está ligada a duas ou mais serpentinas internas.

¹ Condicionadores de ar portáteis são uma classe especial de condicionadores de ar de ambiente que podem ser levados de um ambiente a outro. Eles fazem a exaustão do ar do condensador através de um pequeno cano flexível, que pode ser colocado em uma janela aberta. Alguns condicionadores de ar portáteis usam um condensador externo separado, que se conecta à seção interna com uma tubulação de refrigerante flexível.

Condicionadores de ar reversíveis (bombas de calor) estão ganhando aceitação do mercado em climas frios onde são usados principalmente para aquecimento, mas também para fornecer refrigeração durante o verão. Essas unidades são projetadas para proporcionar alta eficiência e capacidade a baixas temperaturas ambientes, normalmente até -30°C. Condicionadores de ar reversíveis reduzem as emissões indiretas de CO₂, fornecendo uma alternativa eficiente e com boa relação custo-benefício à resistência elétrica e ao aquecimento com combustível fóssil. As bombas de calor projetadas para climas frios utilizam uma ou mais tecnologias para melhorar seu desempenho em baixa temperatura ambiente. Essas tecnologias incluem compressão em vários estágios ou com velocidade variável, trocadores de calor maiores e estratégias de controle avançadas. Esses produtos variam desde o uso residencial até sistemas com Fluxo de Refrigerante Variável (VRF), que são utilizados em grandes aplicações comerciais.

Sistemas VRF são uma subcategoria dos sistemas de ar condicionado multi-splits sem dutos. Os sistemas VRF distinguem-se dos sistemas multi-split regulares por sua capacidade de modular o fluxo de refrigerante em resposta à demanda do sistema. Os sistemas VRF são normalmente constituídos por várias unidades internas de tratamento de ar ligadas a uma única unidade de condicionamento de ar externa. A unidade de condicionamento de ar externa pode ajustar o fluxo de refrigerante em resposta à demanda de cada unidade interna. Em algumas configurações, esses sistemas podem simultaneamente aquecer e resfriar espaços interiores separados. A unidade externa modula o fluxo de refrigerante total usando várias metodologias de controle de capacidade do compressor. Os sistemas VRF têm capacidades que variam de 10 kW a mais de 130 kW.

Condicionadores de ar *split* sem dutos usam compressores rotativos herméticos, *scroll* ou alternativos. A grande maioria dos condicionadores de ar sem dutos fabricados antes de 2000 usava o refrigerante HCFC-22. Condicionadores de ar *split* sem dutos individuais têm níveis médios de carga de HCFC-22 de cerca de 0,25-0,30 kg por kW de capacidade de refrigeração. A carga média por kW aumenta conforme aumenta também a eficiência operacional desses sistemas devido ao maior volume interno. O tamanho dos trocadores de calor também é aumentado /ICF06/. Os níveis de carga de refrigerante típicos para sistemas multi-split VRF são de 0,30-0,70 kg/kW de refrigeração.

7.2.3 Condicionadores de ar residenciais tipo *split* com dutos

Os condicionadores de ar residenciais tipo *split* com dutos são normalmente utilizados quando sistemas de aquecimento central de ar forçado precisam da instalação de um sistema de dutos que forneça ar para cada ambiente de uma residência ou a pequenas zonas dentro de edifícios comerciais ou institucionais. Uma unidade de condensação (compressor/trocador de calor), fora do espaço condicionado, fornece refrigerante a uma ou mais serpentinas internas (trocadores de calor) instaladas dentro do sistema de dutos ou manipulador de ar. O ar no espaço condicionado é resfriado ou aquecido pela serpentina e é distribuído pelo edifício por meio do sistema de dutos. As capacidades variam de 5 kW a 17,5 kW (tamanho médio de 10,9 kW) e cada um tem carga média de HCFC-22 de 0,26 a 0,35 kg por kW de capacidade.

Conforme o nível de eficiência desses produtos é aumentado, a carga média por kW normalmente aumenta, a menos que mudanças de *design* sejam feitas para reduzir o volume interno do produto, como o uso de tubos de trocador de calor de menor diâmetro /ICF06/. Nos Estados Unidos, a eficiência mínima dos condicionadores de ar residenciais que podem ser fabricados foi aumentada em 30 por cento em janeiro de 2006, de 10 SEER para 13 SEER. Produtos que satisfazem os novos padrões de eficiência têm níveis de carga aproximadamente 20 a 40% maiores do que os produtos concebidos para satisfazer os níveis mínimos de eficiência anteriores devido ao aumento da superfície do trocador de calor, adicionado para atender ao novo padrão de eficiência mínima /ICF06/. Entretanto, considerável pesquisa está sendo realizada para reduzir os níveis de carga de refrigerante /Pog08/, /Fer05/. A tecnologia de redução de carga irá tornar-se cada vez mais importante conforme a indústria começa a transição para alternativas com PAGs mais baixos, alguns dos quais são inflamáveis.

7.2.4 Condicionadores de ar comerciais compactos (*packaged*) tipo *split* com dutos

Os condicionadores de ar e bombas de calor comerciais são fabricados de duas formas: unidades de sistema *split* que são combinadas com um manipulador de ar interior e um trocador de calor e unidades compactas simples que contêm uma seção integrada de ventilador e trocador de calor que está ligada ao sistema de distribuição de ar da estrutura comercial.

A maioria dos aparelhos de ar condicionado e bombas de calor comerciais compactos com dutos é montada sobre o telhado de escritórios individuais, lojas ou restaurantes ou fora da estrutura, no solo. Várias unidades contendo um ou mais compressores são muitas vezes utilizadas para condicionar o espaço fechado de *shopping centers* com construções baixas, lojas, escolas ou outras estruturas comerciais de tamanho moderado.

Grandes estruturas comerciais, como hospitais, salas de exposições ou arranha-céus em geral, utilizam resfriadores para produzir a água gelada ou salmoura usada para resfriar e desumidificar o ar utilizando trocadores de calor líquido-ar (Capítulo 9).

A Tabela 7-1 resume as características físicas e de instalação típicas de cada tipo de condicionador de ar.

Tabela 7-1: Configurações típicas do tipo de ar condicionado

Tipo	Configuração principal	Layout do sistema	Local do evaporador	Local do condensador	Capacidade (kW)	Carga (kg)
Janela	Pequeno Self-contained	Self-contained	Interno	Externo	1 – 10,5	0,3 – 3
Portátil	Pequeno Self-contained	Self-contained	Interno	Interno	1 – 10,5	0,3 – 3
Parede	Pequeno Self-contained	Self-contained	Interno	Externo	1 – 10,5	0,3 – 3
Terminal compacto	Pequeno Self-contained	Self-contained	Interno	Externo	1 – 10,5	0,3 – 3
Split (sem dutos)	Split sem dutos	Remoto	Interno	Externo	2 – 15	0,5 – 5
Split (com dutos)	Split com dutos	Remoto	Interno	Externo	4 – 17,5	1 – 7
Multi-split	Split sem dutos	Remoto	Interno	Externo	10 – 130	5 – 100
Compacto de telhado	Comercial com dutos	Self-contained	Externo	Externo	7,0 – 350	5 – 100
Split comercial com dutos	Comercial com dutos	Remoto	Interno	Externo	10,5 – 90	5 – 35

7.3 Uso atual do HCFC-22

As estimativas da base instalada (número de unidades) e do inventário de HCFC-22 foram feitas usando modelos computacionais documentados em avaliações anteriores e em outros relatórios /Kel04/, /Clo04/, /Sab09/. A Tabela 7-2 lista a população estimada de unidades em 2008 e os bancos de refrigerante HCFC-22 para cada uma das categorias de produtos abordadas neste capítulo.

Tabela 7-2: População estimada de unidades em 2008 e banco de HCFC-22

Categoria do produto	Unidades HCFC em uso ³ (Milhões)	Unidades HFC em uso (Milhões)	Total de Unidades em uso (Milhões)	Banco estimado de HCFC-22 ⁴ (m-ton.)
Condicionadores de ar de janela e de parede (terminal compacto) ²	116	16	132	84.000
Condicionadores de ar residenciais e comerciais tipo <i>split</i> sem dutos ou livres de dutos	332	62	394	423.000
Condicionadores de ar e bombas de calor residenciais tipo <i>split</i> com dutos	85	12	97	309.000
Condicionadores de ar comerciais tipo <i>split</i> e compactos com dutos	20	3	23	223.000
Total	553	93	646	1.039.000

7.3.1 Pequenos condicionadores de ar *self-contained*

Em todo o mundo, um número estimado de 10,5 milhões de condicionadores de ar de janela e de parede (terminal compacto) com HCFC-22 foram vendidos em 2008, contendo, na média para toda a população, 0,75 kg de HCFC-22.

Com vida útil de mais de 10 anos, estima-se que mais de 116 milhões de condicionadores de ar de janela e de parede com HCFC-22 permanecem em operação em todo o mundo (Tabela 7-2). O banco total de HCFC-22 estimado para o mundo todo na população instalada de condicionadores de ar de janela e de parede (incluindo condicionadores de ar portáteis) é de 84.000 toneladas métricas.

7.3.2 Condicionadores de ar tipo *split* sem dutos

Estima-se que 332 milhões de condicionadores de ar *split* sem dutos com HCFC-22 estavam em uso em todo o mundo em 2008. Os condicionadores de ar *split* sem dutos variam em capacidade de 2,0 kW a 20 kW (tamanho médio de 3.8kW). O inventário total de HCFC-22 na população instalada de sistemas *split* sem dutos em todo o mundo em 2008 foi estimado em 423.000 toneladas métricas.

7.3.3 Condicionadores de ar residenciais tipo *split* com dutos

Estima-se que 85 milhões de condicionadores de ar residenciais tipo *split* com dutos com HCFC-22 estavam em uso em todo o mundo em 2008. A maioria desses aparelhos de ar condicionado está nos Estados Unidos e no Canadá. O banco estimado de HCFC-22 na população instalada de

² Condicionadores de ar de janela às vezes também são instalados por meio de uma penetração da parede externa. Condicionadores de ar terminais compactos, PTAC, são semelhantes a condicionadores de ar de janela, mas tipicamente contêm alguma forma de calor gerada eletricamente. Os PTACs são tipicamente instalados em quartos de hotel e motel.

³ A população de unidades inclui unidades fabricadas com refrigerante HCFC.

⁴ O Banco de HCFC não inclui refrigerantes não SDO, Banco de HFC não listado.

sistemas residenciais com dutos era de 309.000 toneladas métricas.

Aproximadamente 56% dos condicionadores de ar residenciais tipo *split* com dutos fabricados em todo o mundo em 2008 utilizavam refrigerantes não SDO. Aproximadamente 12 milhões da população instalada de 97 milhões condicionadores de ar residenciais tipo *split* com dutos (com HCFC e HFC-22) foram fabricados com refrigerantes não PDO, como R-407C e R-410A.

7.3.4 Condicionadores de ar comerciais compactos (*packaged*) tipo *split* com dutos

Estima-se que 20 milhões de condicionadores de ar e bombas de calor comerciais compactos (*packaged*) tipo *split* com dutos com HCFC-22 refrigerados a ar estavam em no mundo em 2008. Condicionadores de ar e bombas de calor comerciais com dutos variam em capacidade de cerca de 5 kW até 420 kW. O banco mundial total estimado de HCFC-22 na base instalada desses sistemas em 2008 era de 223.000 toneladas métricas. Cerca de 3 milhões dessas 20 milhões de unidades comerciais refrigeradas a ar com dutos foram fabricadas com refrigerantes não PDO.

7.3.5 Banco de HCFC-22

Em massa, no ano de 2008, o HCFC-22 foi responsável por 85% do banco de refrigerantes para estas categorias de produtos. A Tabela 7-2 resume o banco total estimado de HCFC-22 utilizado nessas categorias de produtos.

Desde a última avaliação, houve um aumento significativo no número de novos produtos nessas categorias que utilizam refrigerantes não SDO. Na América do Norte, o HCFC-22 foi eliminado em novos produtos no final de 2009. A Europa e o Japão também completaram a transição para refrigerantes não SDO.

A maioria dos países do Artigo 5 ainda usa HCFC-22 para produzir essas categorias de produtos para seus mercados domésticos. No entanto, a China e, em menor medida, a Índia estão produzindo uma quantidade significativa de produtos não SDO para exportação para os mercados de países não incluídos no Artigo 5.

7.4 Opções para novos equipamentos

7.4.1 Metodologia

Uma pesquisa das ofertas de produtos atuais indica que a maioria dos produtos não SDO disponíveis para as categorias abrangidas nesta seção usa misturas de HFC como refrigerante predominante, com um pequeno número de unidades que utilizam fluidos refrigerantes de hidrocarbonetos (unidades de ar condicionado tipo *split* portáteis e pequenas). Embora o HFC-134a e o R-744 sejam opções tecnicamente viáveis, há comercialização muito limitada de produtos de ar condicionado resfriados a ar que usam HFC-134a ou R-744.

Há vários fatores que devem ser considerados na escolha de um fluido refrigerante alternativo para aplicações de ar condicionado. Estes são:

- Segurança,
- PDO zero,
- Impacto sobre as mudanças climáticas (redução nas emissões diretas e indiretas),
- Desempenho (capacidade e eficiência) e
- Impacto sobre o custo do produto.

A escolha de um refrigerante para determinada aplicação deve ser um processo de seleção de uma solução ideal, considerando cada um dos critérios acima. Além do PDO zero, os parâmetros

restantes deverão ser balanceados uns em relação aos outros para chegar às soluções ideais para cada aplicação de ar condicionado. Especificamente, o impacto de carbono terá de considerar tanto a contribuição "direta" quanto a "indireta" para a pegada de carbono do produto ao longo de seu ciclo de vida. Algumas abordagens estão documentadas na literatura, incluindo: TEWI, LCCP, MCII e outros métodos /Kau08/, /UNE05/, /Riv08/, /Kin08/.

Segue um resumo dos candidatos mais viáveis para a substituição do HCFC-22 para ar condicionado.

7.4.2 Refrigerantes HFC de componente único

Vários refrigerantes HFC de componente único já foram investigados como substitutos para o HCFC-22.

7.4.2.1 HFC-134a

O HFC-134a é o único HFC de único componente que já foi aplicado comercialmente nesta categoria de produtos. O HFC-134a não é um substituto *drop-in* para o HCFC-22. Para conseguir a mesma capacidade que um sistema com HCFC-22, o deslocamento do compressor deve ser aumentado em cerca de 40 por cento, a fim de compensar a menor capacidade de refrigeração volumétrica do HFC-134a. É necessário o *redesign* significativo dos equipamentos para alcançar eficiência e capacidade equivalentes às de sistemas com HCFC-22. Essas alterações de design incluem trocadores de calor maiores, maior diâmetro da tubulação interconectada do refrigerante, compressores maiores e motores do compressor redimensionados.

Embora o HFC-134a seja um possível substituto para o HCFC-22 em sistemas refrigerados a ar, ele não tem recebido ampla utilização, pois os fabricantes conseguiram desenvolver sistemas de ar condicionado resfriados a ar com custos substancialmente mais baixos usando misturas de HFC como R-407C e R-410A. O uso predominante do HFC-134a ocorreu em refrigeradores de água e aplicações de ar condicionado móvel (capítulos 9 e 10, respectivamente). Portanto, o HFC-134a teve aplicação limitada em aplicações de ar condicionado resfriado a ar.

7.4.3 Misturas de HFC

Várias misturas de HFC surgiram como substitutos para o HCFC-22 em sistemas de ar condicionado. Várias composições de HFC-32, HFC-125 e HFC-134a são oferecidas como substitutos não SDO para o HCFC-22. As duas misturas de HFC mais amplamente utilizadas são R-407C e R-410A. R-407C e R-410A têm PAG semelhante ao do HCFC-22 (Tabela 2-1).

7.4.3.1 R-407C

Os testes de desempenho com R-407C indicam que em condicionadores de ar adequadamente projetados, com este refrigerante tem capacidades e eficiências no intervalo de $\pm 5\%$ de sistemas equivalentes com HCFC-22 /Li00i/. Como o R-407C é uma mistura zeotrópica, o "deslizamento" (*glide*) de temperatura é significativa. O design de contrafluxo de trocadores de calor pode mitigar o impacto negativo do *glide* do refrigerante. No entanto, com bombas de calor reversas é difícil empregar *designs* de trocador de calor de contrafluxo, porque o refrigerante tem direções de fluxo opostas nos modos de aquecimento e resfriamento, a menos que um circuito complexo de trocador de calor do refrigerante seja empregado.

Existem atualmente produtos de ar condicionado com R-407C disponíveis na Europa, no Japão e em outras partes da Ásia. O R-407C também tem uso limitado na América do Norte, principalmente em aplicações comerciais.

Uma vez que o refrigerante R-407C requer apenas modificações modestas nos sistemas existentes com HCFC-22, ele vem sendo usado como refrigerante de transição em equipamentos originalmente concebidos para HCFC-22. No entanto, ao longo do tempo, muitos dos *designs* com

R-407C foram redesenhados com R-410A para alcançar reduções em tamanho e custo.

7.3.3.2 R-410A

R-410A é uma mistura binária que pode substituir o HCFC-22 na produção de novos equipamentos. Esta mistura tem baixo *glide* de temperatura (quase azeotrópica). O ponto de ebulição normal é aproximadamente 10 °C inferior ao do HCFC-22, resultando em pressões de condensação de até 4.000 kPa, aproximadamente 50-60% mais elevadas do que as do HCFC-22. O R-410A também tem propriedades termofísicas favoráveis, permitindo o *design* de unidades mais compactas do que as unidades com HCFC-22 que substituem.

Condicionadores de ar com R-410A (até 175 kW) estão atualmente disponíveis comercialmente nos EUA, na Ásia e na Europa. Uma porção significativa dos produtos sem dutos vendidos no Japão e na Europa agora usam R-410A como refrigerante preferido. Aproximadamente 55% do Mercado Residencial com Dutos dos EUA utilizava R-410A como fluido refrigerante em 2008. O mercado residencial com dutos dos EUA utilizará predominantemente R-410A como refrigerante de substituição para o HCFC-22 depois de 2009.

As pressões do sistema com esta mistura são aproximadamente 50% mais elevadas do que com o HCFC-22. *Designers* de sistemas tratam das pressões operacionais mais altas do R-410A através de mudanças de *design*, como paredes mais espessas na carcaça dos compressores, vasos de pressão, (acumuladores, receptores, secadores do filtro, etc.), trocadores de calor e tubulação do refrigerante.

7.4.4 Refrigerantes HFC e misturas com PAG reduzido

7.4.4.1 HFC-32

O HFC-32 é um dos principais constituintes do R-410A e do R-407C. O HFC-32 é um refrigerante A2L com PAG (675) aproximadamente 70% menor do que o do R-410A, o que faz dele uma alternativa de baixo PAG para o R-410A. O HFC-32 apresenta capacidade e eficiência um pouco maiores que o R-410A. Como o HFC-32 tem uma classificação de inflamabilidade A2L, a inflamabilidade precisaria ser mitigada no *design* do produto por meio do cumprimento com uma norma de segurança aplicável, como IEC 60335-2-40. Os sistemas com R-410A podem ser redesenhados para o uso de HFC-32 com pequenas modificações.

O HFC-32 não é um substituto *drop-in* para o HCFC-22, pois sua pressão é cerca de 60% maior e também sua capacidade é aproximadamente 60% maior do que a do HCFC-22 /ASH09/. Sistemas com HCFC-22 precisariam de uma reformulação significativa, incluindo: compressores de menor deslocamento e outras alterações nos componentes do sistema de refrigeração para tratar das pressões de operação mais altas, que seriam quase as mesmas alterações necessárias para redesenhar equipamentos com HCFC-22 para o uso de R-410A.

7.4.4.2 HFC-152a

O HFC-152a tem características de desempenho semelhantes às do HFC-134a. Tem capacidade e desempenho de eficiência semelhantes aos do HFC-134a. O HFC-152a tem PAG muito menor do que HFC-134a, R-410 ou R-407C. O HFC-152a tem inflamabilidade Classe 2 de acordo com a norma ISO 817, com uma velocidade de chama relativamente elevada. O *design* de equipamentos com HFC-152a deve satisfazer os requisitos das normas de segurança relevantes, como IEC 60335-2-40, que exige a limitação da carga de refrigerante ou, sob determinadas circunstâncias, pode necessitar o uso de sistemas de indiretos.

Além disso, o *redesign* significativo de sistemas existentes com HCFC-22, R-410A ou R-407C seria necessário para o uso de HFC-152a. Alterações seriam necessárias para tratar não só da inflamabilidade do HFC-152a, mas também de sua baixa capacidade de refrigeração volumétrica, que é próxima à do HFC-134a. As alterações de *design* do sistema necessárias são semelhantes às descritas para o HFC-134a.

É improvável que o HFC-152a venha a ser comercializado em sistemas de condicionamento de ar, porque sua baixa densidade e inflamabilidade resultariam em custos significativamente maiores em relação a um sistema com HCFC-22.

7.4.4.3 HFC-161

O HFC-161 também está em avaliação como substituto para o HCFC-22 em sistemas de ar condicionado. O HFC-161 é uma alternativa inflamável, com PAG baixo. Estudos comparando HCFC-22 e HFC-161 estão apenas começando a aparecer na literatura. Grande parte da pesquisa atual é realizada na China. Como acontece com todos os refrigerantes inflamáveis, o HFC-161 teria de ser aplicado utilizando uma norma de segurança apropriada, como a IEC-60.335-2-40.

7.4.4.4 HFC-1234yf

O HFC-1234yf é um HFC insaturado com PDO zero e PAG muito baixo. Este refrigerante foi proposto como alternativa para o R-134a, em aplicações de AC automotivo /Min08/. O HFC-1234yf não é um substituto *drop-in* para o HCFC-22 para aplicações de ar condicionado ar-ar. Seu desempenho termodinâmico é semelhante ao do R-134a. Tem menor capacidade de refrigeração volumétrica que o R-22, o R-410A ou o R-407C e, por isso, é necessário que os compressores que usam este refrigerante tenham deslocamentos significativamente maiores. Estudos experimentais indicam que sistemas com HFC-1234yf serão 40% maiores e mais caros que sistemas com HCFC-22 /Fuj10/, /Hid10/. As alterações de design incluem compressores com maior deslocamento, áreas de trocadores de calor maiores e aumento do diâmetro da tubulação de interligação. Essas alterações são semelhantes às descritas para o HFC-134a em 7.5.2.1. O HFC-1234yf tem classificação de inflamabilidade A2L e teria de ser aplicado utilizando uma norma de segurança apropriada, como a IEC-60336-2-40.

Como o HFC-1234yf é muito semelhante ao HFC-134a, ele sofrerá com os mesmos problemas de custo de aplicação discutidos para o HFC-134a. Por isso, é improvável que condicionadores de ar unitários com HFC-1234yf puro sejam comercialmente viável.

7.4.4.5 Misturas de HFC-1234yf

Fabricantes de refrigerantes propuseram misturar HFC-1234yf com outros refrigerantes não PDO, a fim de alcançar um desempenho mais próximo ao dos refrigerantes usados atualmente nesses produtos /Min08/, /Spa10/. A maioria dessas misturas contém um ou mais refrigerantes HFC adicionais e exibem vários níveis de *glide* e, em alguns casos, inflamabilidade, dependendo da composição da mistura. Essas misturas podem ser formuladas para ter características de desempenho semelhantes às do HCFC-22 ou do R-410A, tendo PAGs muito mais baixos.

7.4.4.6 Lubrificantes para sistemas com HFC

Os lubrificantes naftênicos à base de óleo mineral e alquilbenzeno comumente utilizados em sistemas com HCFC-22 não são miscíveis com refrigerantes HFC. Uma considerável experiência de campo resultou na disponibilidade comercial de vários lubrificantes sintéticos para sistemas com HFC. Os dois principais lubrificantes utilizados em sistemas de HFC são:

- Lubrificantes Poliol Éster (POE) (Sintéticos) e
- Lubrificantes Polivinil Éter (PVE) (Sintéticos).

Destes, POE é o lubrificante mais amplamente utilizado em aplicações com refrigerante HFC. A escolha do lubrificante a ser usado com um HFC específico é geralmente feita pelo fabricante do compressor, que faz a escolha depois de cuidadosos testes de confiabilidade e compatibilidade com os materiais.

7.4.5 Refrigerantes hidrocarbonetos

Sistemas com hidrocarbonetos estão comercialmente disponíveis em várias aplicações de ar condicionado de baixa carga, como pequenos condicionadores de ar *split*, de janela e portáteis. O HC-290 é o refrigerante hidrocarboneto mais frequentemente utilizado em aplicações de ar condicionado. Quando utilizado para substituir o HCFC-22, o HC-290 tem características de desempenho que produzem desempenho ligeiramente melhor do que o HCFC-22 /Dev05i/, /ART01/. Em comparação com os HFCs, os refrigerantes hidrocarbonetos têm: níveis de carga

reduzidos (cerca de 0,05-0,15 kg/kW de capacidade de refrigeração), miscibilidade com óleos minerais (lubrificantes sintéticos não são necessários), temperaturas de descarga do compressor reduzidas e melhor transferência de calor devido a propriedades termodinâmicas favoráveis /Col99/.

O fator negativo para a aplicação segura do HC-290 em sistemas de ar condicionado é sua alta inflamabilidade, que gera preocupações de segurança significativas na aplicação, na instalação e no serviço de campo. Normas europeias e internacionais limitam a quantidade de HC-290 que pode ser usada em um sistema. A norma IEC-60335-2-40 fornece critérios utilizados para determinar a carga máxima permitida em uma aplicação específica. A seção 7.4.7 fornece uma breve discussão sobre a metodologia utilizada pela IEC-60335-2-40, bem como exemplos dos limites de carga para aplicações típicas. Tecnologias de redução de carga podem reduzir a carga de refrigerante de sistemas com hidrocarbonetos, o que pode aumentar a faixa de capacidades de unidades que podem usar hidrocarboneto ou qualquer refrigerante inflamável.

Análises de risco sobre o uso de hidrocarbonetos em condicionadores de ar sugerem que desde que os requisitos das normas de segurança sejam cumpridos, o risco de ignição durante a operação normal é extremamente baixo /Col04/. As situações que apresentam maior risco são vazamentos súbitos, manipulação do refrigerante e atividades de manutenção. Assim, práticas de instalação e de serviço devem ser modificadas para evitar expor os consumidores e técnicos de serviço aos riscos adicionais associados a refrigerantes altamente inflamáveis.

Outro fator que deve ser considerado com refrigerantes inflamáveis são os requisitos de recuperação e regeneração do refrigerante. Embora os refrigerantes hidrocarbonetos tenham impactos ambientais mínimos, ainda pode haver a necessidade de recuperar o refrigerante durante a manutenção e no final da vida útil do produto para proteger aqueles que fazem a manutenção ou reciclagem do produto. As práticas atuais de recuperação e reciclagem dependem em grande medida de regulamentos nacionais ou regionais. Na Europa, por exemplo, a legislação de resíduos indica que HCs devem ser recuperados, enquanto que em muitos países do Artigo 5, a ventilação dos HCs pode ser considerada uma opção aceitável.

A decisão final sobre se refrigerantes hidrocarbonetos são práticos em produtos de ar condicionado será determinada por normas de segurança, códigos locais e análise de se os custos adicionais de mitigação de segurança resultam em produtos mais caros do que aqueles que podem ser desenvolvidos usando outras opções não SDO.

7.4.5.1 *Lubrificantes para refrigerantes hidrocarbonetos*

Vários pesquisadores e a experiência prática com sistemas de refrigeração em que se usam hidrocarbonetos confirmam que refrigerantes hidrocarbonetos podem utilizar óleos lubrificantes minerais /Col99ii/, /Bit04/. Os dados de catálogo dos fabricantes de compressores indicam que tanto lubrificantes baseados em óleo mineral e lubrificantes POE são utilizados em compressores projetados para aplicações de hidrocarbonetos.

7.4.6 R-744

O R-744 oferece várias propriedades desejáveis como refrigerante: disponibilidade imediata, baixa toxicidade, baixo PAG e baixo custo. No entanto, por causa do baixo limite de exposição prática do R-744, ele deve ser aplicado utilizando normas de segurança adequadas. O R-744 tem baixa temperatura de ponto crítico, o que resulta em perdas de eficiência significativas quando é aplicado nas temperaturas típicas de ar interior e exterior de aplicações de ar condicionado ar-ar, especialmente em clima de alta temperatura ambiente, podendo resultar em maiores custos do sistema /Elb08/, /Haf08/, /Joh08/. Sistemas de ar condicionado com R-744 operam tipicamente acima da temperatura crítica do R-744 durante a rejeição de calor. Por isso, sistemas com R-744 utilizam resfriadores de gás em vez de condensadores.

Condicionadores de ar com R-744 que operam em climas mais quentes (temperaturas de *design* superiores a 30 °C) podem ter eficiências de 10-15% abaixo da melhor da classe, em *designs* que utilizam HFC /ART03a/. No entanto, algumas melhorias de *design* podem ser feitas para melhorar sua eficiência. A eficiência de sistemas com R-744 pode ser melhorada por meio de compressão

em várias fases, injeção de líquido, adição de separadores de óleo, uso de ejetores de refrigerante ou expansores, vários trocadores de calor interciclos e trocadores de calor de contrafluxo cruzado, que tiram proveito das propriedades termofísicas favoráveis do R-744 /Xie08/, /Wan08/, /Koy08/, /Liu08/, /Peu08/, /Kas08/. A adição de componentes para aumentar a eficiência pode melhorar a eficiência dos sistemas de R-744, mas ela também aumenta o custo dos sistemas com R-744.

As pressões de operação do esfriador de gás para sistemas com R-744 são elevadas, tipicamente até 14.000 kPa, com uma pressão média do sistema perto de 5.000 kPa /Ibr03/. A pressão hidrostática de ruptura exigida para sistemas que operam a estas pressões elevadas teria de ser de aproximadamente 30.000 kPa /Bos08/. As pressões de funcionamento mais elevadas contribuem para a capacidade de resfriamento específico elevada, permitindo a redução dos diâmetros internos dos tubos e menor deslocamento do compressor ou volume deslocado. Os menores diâmetros dos componentes combinados com espessura de parede significativamente aumentada também são necessários para lidar com as altas pressões de operação do R-744. As alterações no *design* necessárias para cumprir com as exigências de pressão de ruptura de sistemas com R-744 também resultam em aumento nos custos de fabricação. O elevado custo dos sistemas com R-744, a menos que resolvidos, devem ser um obstáculo substancial para a adoção da tecnologia de R-744 em aplicações de ar condicionado ar-ar.

Condicionadores de ar R-744 resfriados a ar foram introduzidos no mercado em quantidades muito limitadas. Produtos VRF com R-744 foram introduzidos no mercado europeu. Resultados experimentais mostram que os sistemas com R-744 podem competir em eficiência energética, com sistemas de R-410A com alta eficiência para climas moderados, tanto no modo de refrigeração quanto no de aquecimento; porém, melhorias são necessárias para melhorar significativamente a capacidade, a eficiência e para reduzir os requisitos de pico de energia elétrica durante o modo de resfriamento em condições de alta temperatura ambiente /Jak07/.

7.4.6.1 Lubrificantes para sistemas com R-744

A solubilidade do R-744 no lubrificante é relativamente elevada nas pressões de funcionamento do cárter de compressores com R-744 /CAS01/. O conhecimento de informações sobre a compatibilidade de lubrificantes em sistemas de refrigeração com R-744 está se expandindo conforme mais pesquisadores realizam estudos sobre compressores com R-744 /Hub02/, /Li00ii/, /You03/, /Mul08/. Alguns dos lubrificantes considerados para sistemas com R-744 são lubrificantes POEs, PAO e óleo mineral naftênico ou alquilbenzeno /You03/, /See06/. É muito provável que um separador de óleo seja necessário em sistemas com R-744 devido ao grande impacto prejudicial que a circulação de óleo tem sobre o desempenho de transferência de calor do R-744 /Mue08/.

7.4.7 Considerações de inflamabilidade

Ao projetar sistemas que utilizam refrigerantes inflamáveis, o designer deverá cumprir com os requisitos das normas de segurança aplicáveis. Um exemplo desse tipo de norma é a IEC-60.335-2-40 /IEC06/. Ela especifica requisitos de construção, limites de carga, requisitos de ventilação e requisitos para circuitos secundários de refrigerante.

A norma utiliza o limite inferior de inflamabilidade, LFL, e as especificidades da aplicação (localização do equipamento, ventilação da unidade, volume do espaço instalado e se o espaço que contém a unidade é ou não ventilado) para determinar o nível máximo de carga, os requisitos de ventilação e se ou não um circuito de refrigerante secundário é necessário. A Tabela 7.3 apresenta um exemplo da carga máxima admissível de refrigerante determinada pela IEC-60.335-3-40 tanto para um espaço ventilado quanto para um espaço não ventilado, com a totalidade ou parte do sistema instalado no espaço interno. A carga máxima para outros refrigerantes e outras condições de aplicação pode ser facilmente calculada usando as equações no Anexo GG da norma.

Tabela 7-3: Exemplo de carga máxima de refrigerante de acordo com a IEC-60335-2-40, (kg)

Refrigerante	Espaço ventilado	Espaço não ventilado ⁵
HC-290	1	0,3
HFC-32	8	4,0
HFC-161	2	0,7

7.4.8 Tecnologias alternativas *not-in-kind*

Em avaliações anteriores, diversas possíveis novas tecnologias foram apresentadas como opções que poderiam ter impacto positivo sobre a eliminação de fluidos refrigerantes SDO. Algumas das tecnologias apresentadas nas avaliações anteriores foram: absorção, sistemas de resfriamento dessecante, sistemas Stirling, termelétricos e vários outros ciclos termodinâmicos. No entanto, uma pesquisa da literatura publicada desde a avaliação anterior continua a confirmar que a maioria dessas tecnologias não progrediu muito para atingir viabilidade comercial para aplicações de ar condicionado resfriado a ar em relação a seu status no momento da avaliação de 1990 e nas três avaliações subsequentes. Embora esses ciclos alternativos sejam tecnicamente viáveis, eles até o momento não foram comprovados como economicamente viáveis. Portanto, é improvável que eles penetrem significativamente nesses mercados, com exceção de possíveis aplicações de nichos (como localidades onde a eletricidade não está disponível), durante a próxima década. Tecnologias alternativas, portanto, terão impacto mínimo sobre a eliminação de HCFC-22 em países desenvolvidos e em desenvolvimento.

No entanto, existem algumas tecnologias alternativas maduras comprovadas, que podem proporcionar opções não PDO para algumas regiões e aplicações. Por exemplo, a tecnologia de *Resfriamento Evaporativo* pode fornecer uma alternativa com custo muito baixo e com eficiência energética à refrigeração por compressão de vapor em climas quentes e áridos /ASH07/.

7.5 Opções para equipamentos existentes

Após a eliminação dos HCFCs nos países não incluídos no Artigo 5 ou nos países do Artigo 5, ainda haverá necessidade de manutenção da população instalada de produtos até o final de suas vidas úteis. A manutenção desses produtos pode estar em três categorias:

1. Reparo de campo de *manutenção*
2. Reparo de campo com *refrigerante drop-in*
3. Reparo de campo de *retrofit*

Todos os três métodos de reparo são importantes para os países do Artigo 5, porque os sistemas são muitas vezes reparados por diversas vezes a fim de estender sua vida útil. Há um grande número de países Consumidores de Pequenos Volumes (em inglês, *Small Volume Consuming, SVC*), que importam aparelhos de ar condicionado, em vez de fabricá-los. Portanto, a maior parte do consumo de HCFC nesses países é utilizada para a manutenção da base instalada de aparelhos de ar condicionado. Nesses países, o consumo de HCFC pode ser reduzidos pela utilização de refrigerantes de manutenção ou pelo *retrofit* de equipamentos existentes para o uso de refrigerantes não PDO. Uma terceira opção, menos desejável devido a seu custo, seria substituir o equipamento existente antes do fim de sua vida útil. A disponibilidade de refrigerantes de manutenção e opções de *retrofit* será muito importante para os países SVC durante esse período.

Em países não incluídos no Artigo 5, a substituição das unidades é mais comum, porque os custos associados com a realização de um grande conserto ou *retrofit* muitas vezes pode ser maior do que o custo de substituir o produto.

Um reparo de campo de manutenção é qualquer reparo que possa seguir as práticas normais de manutenção, utilizando refrigerante novo, reciclado ou recuperado.

⁵ Presume área de 15m² com a unidade montada 1,8 m acima do chão
2010 TOC Refrigeration, A/C and Heat Pumps Assessment Report

O reparo de campo com *refrigerante drop-in* substitui o HCFC-22 por uma das misturas de serviço disponíveis, sem trocar o lubrificante utilizado no equipamento original. Os refrigerantes que atendem a essas exigências são muitas vezes referidos como *Fluidos ou Misturas de Serviço*. Nos casos em que o *refrigerante drop-in* resulta em uma capacidade ou eficiência significativamente mais baixa do que a do HCFC-22, o *retrofit* é mais apropriado.

As técnicas de reparo de campo com *retrofit* vão desde a simples troca do refrigerante, lubrificante e filtro secador (se necessário) até modificações mais drásticas, que poderiam incluir a substituição do compressor, do refrigerante, do lubrificante, do secador, do dispositivo de expansão e purga e *flushing* do sistema para remover todo o lubrificante residual. Qualquer fluido refrigerante e lubrificante removido do sistema deve ser descartado de modo ambientalmente responsável, em conformidade com as regulamentações ambientais aplicáveis. O reparo de campo com *retrofit* pode ser substancialmente mais caro do que os reparos de *manutenção* ou *drop-in* ou mesmo a substituição da unidade. Os refrigerantes que exigem troca de lubrificante ou mudanças de componentes do sistema são frequentemente descritos como refrigerantes de *retrofit*. Os refrigerantes de *retrofit* provavelmente não serão econômicos se o compressor ou trocadores de calor tiverem de ser substituídos.

No caso de *retrofit* ou substituto *drop-in* em sistemas com HCFC-22, o impacto de aquecimento global do refrigerante de substituição também deve ser tomado em consideração.

7.5.1 Misturas de refrigerante de serviço

Várias *Misturas de serviço* estão sendo introduzidas para substituir o HCFC-22 para manutenção. Esses fluidos refrigerantes são essencialmente promovidos como refrigerantes *drop-in* e de *retrofit* para refrigerantes HCFC-22 em aplicações de ar condicionado. Eles geralmente combinam dois ou mais fluidos refrigerantes HFC com uma pequena quantidade de refrigerante hidrocarboneto. O refrigerante hidrocarboneto é adicionado à mistura para permitir que o refrigerante funcione com os lubrificantes naftênicos baseados em óleo mineral e alquilbenzeno utilizados em quase todos os sistemas de ar condicionado com HCFC-22. Os refrigerantes de *Mistura de serviço* tentam reproduzir o desempenho do HCFC-22. No entanto, esses fluidos refrigerantes geralmente não têm desempenho tão bom quanto o do HCFC-22, tendo menor capacidade, menor eficiência ou ambas, em aplicações *drop-in*. Exemplos das muitas misturas de *Refrigerante drop-in* para o HCFC-22 comercialmente disponíveis são: R-422D, R-438A, R-424A e R-417A (Capítulo 2). Informações sobre a aplicação dessas misturas podem ser obtidas de seus fabricantes.

7.5.2 Refrigerantes de *retrofit*

O R-407C foi comprovado como refrigerante de *retrofit* aceitável para sistemas com HCFC-22. Seu uso é generalizado em alguns locais como refrigerante de *retrofit*, com alguma perda de capacidade e eficiência. Seu desempenho é muito semelhante ao do HCFC-22, mas não é necessário que o lubrificante de óleo mineral naftênicos ou de óleo sintético alquilbenzeno seja substituído. Filtros secadores compatíveis com R-407C devem ser instalados em sistemas de HCFC-22 adaptados para R-407C. A desvantagem de utilizar misturas de alta variação de temperatura (*glide*) é a necessidade de remover e substituir toda a carga durante a manutenção para evitar mudança substancial de composição. No entanto, como o R-407C tem *glide* moderado, experiências de laboratório e campo com sistemas de R-407C indicam que a manutenção desses sistemas pode ser feita sem a substituição de toda a carga de refrigerante com impacto mínimo sobre o desempenho.

7.5.3 Impacto previsto sobre o mercado de refrigerantes *Drop-in* e de *Retrofit*

A necessidade e o impacto sobre o mercado de refrigerantes *drop-in* e de *retrofit* serão em grande parte determinados pelo tamanho da população instalada de produtos com HCFC-22, pelo cronograma de eliminação dos HCFC, pelo tempo de continuidade de manutenção permitido (*service tail*), pela disponibilidade de HCFC-22 para manutenção e pelas práticas de recuperação e regeneração estabelecidas no período de eliminação. O termo "*service tail*" é usado para descrever o tempo entre o momento da eliminação de um refrigerante para uso em novos

equipamentos e a data em que o refrigerante deixa de poder ser produzido. Prevê-se que os refrigerantes de *serviço* (HCFC-22 recuperado ou reciclado), de *retrofit* e *drop-in* serão importante para os países do Artigo 5, por causa do capital limitado disponível para a fabricação de novo sistemas não SDO e das vidas úteis mais longas que resultam da prática comum de manutenção ao invés da substituição de um produto quando ocorrem grandes falhas.

A população instalada de aparelhos de ar condicionado e bombas de calor tem uma vida útil média de 15 a 20 anos em países não incluídos no Artigo 5. A vida útil média desses produtos nos países do Artigo 5 pode ser mais longa. Portanto, a implementação de programas de recuperação e regeneração, juntamente com a disponibilidade de refrigerantes *drop-in* e de *retrofit*, pode ajudar a reduzir a demanda por HCFC-22.

7.5.4 Hidrocarbonetos como refrigerantes de conversão/*drop-in*

Foi relatado que HC-290, HC-1270 e misturas de HC-290/HC-170 são utilizadas como substitutos de conversão/*drop-in* para o HCFC-22 em alguns locais. Embora esses fluidos refrigerantes possam proporcionar capacidade e eficiência semelhantes às do HCFC-22, esta prática cria um problema de segurança significativo devido à alta inflamabilidade dos refrigerantes. Se os hidrocarbonetos forem considerados, todos os códigos de prática e normas de segurança pertinentes devem ser rigorosamente seguidos. O *GTZ Handbook for HC Safety* (Manual GTZ para Segurança de HC) é uma fonte de informações sobre a utilização dos refrigerantes HC /GTZ10/.

7.6 Considerações sobre alta temperatura ambiente

O objetivo desta seção é resumir o desempenho de várias opções ao HCFC-22 para aplicações de ar condicionado em alta temperatura ambiente (acima de 40°C). As propriedades e os princípios termodinâmicos resultam em declínio de capacidade e eficiência para todos os refrigerantes quando a temperatura de rejeição de calor (condensação do refrigerante) aumenta, inclusive para o HCFC-22. No entanto, alguns substitutos para o HCFC-22 exibem maior perda de capacidade e eficiência do que o HCFC-22 sob elevadas condições ambientes. Atualmente, os substitutos mais amplamente aplicados para o HCFC-22 em aplicações de ar condicionado unitário são misturas de HFC, principalmente R-410A e R-407C. Os hidrocarbonetos também são usados em algumas aplicações com baixa carga de refrigerante. Este material resume as informações contidas na Decisão XIX/8: Alternativas aos HCFCs em Altas Temperaturas Ambientais /UNE10/.

Tanto o R-410 quanto o R-407C têm temperaturas críticas mais baixas que o R-22. Isso ocorre porque o HFC-125 (um componente do R-407C e do R-410A) tem a temperatura de ponto crítico comparativamente baixa de 66,0°C (150°F). A temperatura de ponto crítico é importante porque refrigerantes com baixa temperatura de ponto crítico apresentam diminuição mais acentuada de capacidade com o aumento das temperaturas ambientes (ao ar livre) do que os refrigerantes com temperaturas de ponto crítico mais elevadas. Esse declínio mais acentuado na capacidade é de particular importância em regiões geográficas que têm temperaturas de *design* de resfriamento que se aproximam da temperatura de ponto crítico do fluido refrigerante.

7.6.1 R-410A em aplicações de alta temperatura ambiente

Foi demonstrado que os sistemas com R-410A operam aceitavelmente a temperaturas ambientes de até 52°C. O desempenho (capacidade e eficiência) de condicionadores de ar com R-410A cai mais rapidamente que o de sistemas com HCFC-22 em elevadas temperaturas ambientes (acima de 40°C), como mostra a Tabela 7-4 /UNE10/.

Tabela 7-4: Desempenho em alta temperatura ambiente relativo ao HCFC-22, %

Refrigerante	Temperatura de condensação (°C)			
	40	50	60	65

HCFC-22	100	100	100	100
HFC-32	100	100	99	98
HFC-134a	100	99	97	96
HC-290	100	98	96	95
R-407C	100	97	94	92
R-410A	100	97	93	90
HC-600a	100	100	99	97

Unidades projetadas para igual capacidade a 40 °C

A escolha ideal do compressor, do fluxo de ar, do *design* do condensador e do dispositivo de expansão pode reduzir as perdas de desempenho em altas temperaturas ambientes /Bat04/. Mesmo com *designs* otimizados, ao aplicar sistemas com R-410A que operam por um número significativo de horas a altas temperaturas ambientes, o projetista do sistema deve levar em consideração a capacidade reduzida em alta temperatura ambiente ao dimensionar o equipamento. Para os casos em que a capacidade de base da unidade teria de ser aumentada para atender à maior carga em temperaturas ambientes extremas, a seguinte regra prática deve ser suficiente para estimar o impacto sobre o custo.

7.6.2 HC-290 em aplicações de alta temperatura ambiente

O HC-290 tem características de desempenho semelhantes às do HCFC-22. As características são tão próximas que os produtos atuais que utilizam HCFC-22 poderiam ser readequados para utilizar HC-290. O HC-290 foi comprovado como substituto apropriado para o HCFC-22 em aplicações de ar condicionado portátil, de ambiente, de baixa carga /Dev09a/. O HC-290 apresenta uma redução de 5% em capacidade a 65°C, Tabela 7-4.

A norma 60335-2-40 da IEC estabeleceu os critérios para determinar o limite de carga máxima para aplicações de refrigerante altamente inflamáveis. A norma também estabelece requisitos de projeto mecânico e elétrico e limitações de carga máxima para refrigerantes inflamáveis. A aplicação segura e economicamente viável de hidrocarbonetos em sistemas unitários maiores será um grande desafio técnico.

7.6.3 R-407C em aplicações de alta temperatura ambiente

Os sistemas com R-407C tipicamente têm desempenho quase igual ao de sistemas com HCFC-22 em temperaturas ambientes típicas. Em temperaturas ambientes acima de 40°C, sistemas com R-407C apresentam menor redução de capacidade e eficiência do que sistemas com R-410A. No entanto, os sistemas com R-407C ainda apresentam capacidade cerca de 8% menor que a de sistemas com HCFC-22 a uma temperatura de condensação de 65°C (Tabela 7-4). Uma vez que o refrigerante R-407C requer apenas modificações modestas em sistemas existentes com HCFC-22, ele também vem sendo utilizado como refrigerante de transição em equipamentos originalmente concebidos para HCFC-22.

Atualmente, produtos de ar condicionado com R-407C estão amplamente disponíveis na Europa, no Japão e em outras partes da Ásia.

7.6.4 HFC-32 em aplicações de alta temperatura ambiente

O HFC-32 está em consideração como alternativa ao R-410A. O HFC-32 tem maior eficiência e capacidade em altas temperaturas ambientes. O HFC-32 tem capacidade aproximadamente 2% menor do que a de sistemas com HCFC-22 a uma temperatura de condensação de 65°C (Tabela 7-4). É provável que o HFC-32 se torne um substituto de mais longo prazo para o R-410A. Ele tem um PAG de aproximadamente 32% daquele do R-410A e apresenta muito melhor desempenho em

ambientes com temperatura elevada do que o R-410A. No entanto, tem inflamabilidade A2L, que precisa ser considerada no *design* e na aplicação do produto com o uso de normas de segurança adequadas. As alterações de design necessárias para passar do R-410A para o HFC-32 devem ser simples. Embora sistemas com HFC-32 estejam em desenvolvimento, nenhum deles está disponível atualmente no mercado.

7.6.5 HFC-134a e HC-600a em aplicações de alta temperatura ambiente

O HFC-134a e o HC-600a pareceriam atraentes do ponto de vista de que têm desempenho semelhante ao do HCFC-22 em alta temperatura ambiente. No entanto, ambos os refrigerantes são de baixa pressão. Portanto, seria necessário *redesign* considerável dos componentes do sistema de base para atingir a mesma capacidade e eficiência do sistema com HCFC-22. As alterações de projeto incluem compressores de maior cilindrada, maiores áreas de trocador de calor e aumento no tamanho da tubulação usada em trocadores de calor e de interligação. Todas essas mudanças levariam a um aumento substancial no custo do produto. Além disso, alterações de *design* adicionais seriam necessárias com o uso de HC-600a para tratar da alta inflamabilidade deste refrigerante. Portanto, HFC-134a e HC-600a não são considerados as opções mais viáveis para substituir o HCFC-22 em aplicações de ar condicionado unitário.

7.6.6 R-744 em aplicações de alta temperatura ambiente

O R-744 oferece várias propriedades desejáveis como refrigerante: disponibilidade imediata, baixo PAG e baixo custo. Essas características desejáveis são compensadas pelo fato de que o R-744 tem temperatura crítica muito baixa (31°C) e funciona acima das condições de ponto crítico na maioria das aplicações de ar condicionado. A operação nessas condições resulta em uma redução significativa em capacidade e COP em altas temperaturas ambientes.

Essas perdas podem ser parcialmente compensadas pela adição de trocadores de calor internos e expansores ou ejetores. No entanto, sistemas com R-744 não devem fornecer uma alternativa com boa relação custo-benefício ao HCFC-22 ou a refrigerantes HFC quando aplicados em regiões de alta temperatura (> 40°C).

7.6.7 Substitutos do HFC em aplicações de alta temperatura ambiente

As alternativas aos refrigerantes HFC para aplicações de ar condicionado estão nos estágios iniciais de desenvolvimento. Vários novos refrigerantes estão sendo estudados para substituir o R-407C e R-410A, incluindo HFC-1234yf e misturas de outros refrigerantes HFC com HFC-1234yf.

Acredita-se que os fabricantes de refrigerantes estão trabalhando para qualificar outros produtos químicos ou possivelmente novas misturas, mas o desenvolvimento não progrediu ao ponto de tornar esses refrigerantes disponíveis para fabricantes de equipamentos unitários para avaliação e desenvolvimento de equipamentos. Portanto, é prematuro recomendar alternativas ao R-410A ou ao R-407C nesta fase inicial do desenvolvimento que não sejam o HC-290, que pode ser utilizado em aplicações de baixa carga quando requisitos de segurança e aplicação adequados são levados em conta.

7.7 Referências

- /AHRIO8/ 2008 Unitary Air Conditioner Shipment Data, Air Conditioning Heating and Refrigeration Institute, Arlington Va. , 2008.
- /ART01/ *Assessment of the Commercial Implications of ASHRAE A3 Flammable Refrigerants in Air Conditioning and Refrigeration, Final Report; ARTI 21-CR/610-50025-01*; Air Conditioning and Refrigeration Technology Institute (ARTI), Arlington, VA, USA September 2001.
- /ART03a/ *Evaluation Of The Performance Potential Of CO₂ As A Refrigerant In Air-To-Air Air Conditioners And Heat Pumps: System Modelling And Analysis, Final Report; ARTI-21CR/610-10030*; Air Conditioning and Refrigeration Technology Institute (ARTI), Arlington, VA, USA December 2003.
- /ART03b/ *CO₂ Compressor Expander Analysis, Final Report; ARTI-21CR/611-10060-01*; Air Conditioning and Refrigeration Technology Institute (ARTI), Arlington, VA, USA March 2003.
- /ASH07/ *HVAC Applications Handbook*; American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE); Atlanta Georgia, USA, 2007.
- /ASH08/ *HVAC Systems and Equipment*; American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE); Atlanta Georgia, USA, 2008.
- /ASH09/ *Handbook of Fundamentals*; American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE); Atlanta Georgia, USA, 2009.
- /Bae08/ Baek, Changhyun and Lee, Eungchan et al; *Experimental Study on the Heating Performance of a CO₂ Heat Pump With Gas Injection*; International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14-17, 2008
- /Bit04/ Bitzer International, “Refrigerant Report, 13th Addition A-501-13, September 2004
- /Bos08/ Bosco, R. and Weber, G.; *Challenges on the Development of A CO₂ Compressor Focusing on Structural Strength and Reliability*; 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Copenhagen, Denmark 7-10 September 2008
- /Cas01/ Casini, Dorin, *CO₂ Compressors and Equipment Use and Availability*, IX Convegno Europeo – Politecnico di Milano, Italy, 29-30 Giugno 2001
- /Clo04/ Clodic, D., Palandre, L., Kuijpers, L., *Estimation of the world-wide fleets of refrigerating and air-conditioning equipment in order to determine forecasts of refrigerant emissions*, Ecole des Mines de Paris, Center for Energy Studies, Paris, France, 2003.
- /Col99/ Colbourne, Daniel, *Practical Application of Hydrocarbon Refrigerants: Production Cost and Operational Performance*, 20th IIR Congress of Refrigeration, IIR/IIF, Sydney, 1999.
- /Col00/ Colbourne, Daniel, *Assessment of the Performance of Hydrocarbon Refrigerants, IIF-IIR Commission B1, B2, E1 and E2*, Purdue, West Lafayette, IN USA, 2000.
- /Col04/ Colbourne, D., Suen, K. O. (2004) *Appraising the Flammability Hazards of Hydrocarbon Refrigerants using Quantitative Risk Assessment Model. Part II: Model evaluation and analysis*, International Journal of Refrigeration, Vol. 27, pp. 784 – 793.
- /Cox08/ Cox, N. and Mazur, V. et al; *New High Pressure Low-GWP Azeotropic and Near Azeotropic Refrigeration Blends*; International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14-17, 2008.
- /Dev05i/ Devotta, S., Padalkar, A.S. and Sane, N. K., *Performance assessment of HC-290 as a drop-in substitute to HCFC-22 in a window air conditioner*”, International Journal of Refrigeration, 28, 594-604, 2005.
- /Elb08/ Elbel, Stefan and Hrnjak, Predrag; *Ejector Refrigeration: An Overview of Historical and Present. Developments with and Emphasis on Air-Conditioning Applications*; International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14-17, 2008.
- /Fer05/ Fernando, P., Lunquist, P.; *Refrigeration systems with minimized refrigerant charge: system design and performance*; Journal Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering , Issue Volume 219, Number 2 / 2005.
- /Fuj10/ Fujitaka, Akira and Shimizu, Tsutomu et al; *Application of Low Global Warming Potential 2010 TOC Refrigeration, A/C and Heat Pumps Assessment Report* 140

Refrigerants for Room Air Conditioner, 2010 International Symposium on Next Generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, Tokyo, Japan, 2010.

- /GTZ10/ Guidelines for the safe use of hydrocarbon refrigerants, (2010) GTZ Proklima, Eschborn, Germany, <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/28719.htm>
- /Haf08/ Hafnet, A. and Garski, D. J. et al; *Air Reversing R-744 Air Conditioning System* ; 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Copenhagen, Denmark 7-10 September 2008.
- /Hid10/ Hara, Hideki and Ohno, Masao et al; *Experimental Study of Low GWP Refrigerants for Room Air-Conditioners*, 2010 International Symposium on Next Generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, Tokyo, Japan, 2010.
- /Hub02/ Hubacher, B., Groll, E., Hoffinger, C., *Performance Measurements of a Semi-Hermetic Carbon Dioxide Compressor*, Ninth International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue University, West Lafayette, IN. USA, July 2002.
- /Ibr03/ Ibrahim, A.G., Fleming, J.S. , *Performance Assessment of a Transcritical CO₂ Heat Pump using a Reciprocating Compressor*, *International Congress of Refrigeration*, Washington, D.C., August 2003.
- /ICF06/ ICF International, *Projected Servicing Needs in the U.S. Air-Conditioning and Refrigeration Sector*, Prepared for the U.S. EPA, September 2006, Washington DC.
- /IEC06/ International Electrotechnical Commission, *International Standard 60335-2-40, Household and similar electrical appliances – Safety, Part 2-40; Particular Requirements for electrical heat pumps, air-conditioners and dehumidifiers*, Geneva, Switzerland, 2006.
- /JARN08/ Japanese Air Conditioning, Heating and Refrigeration News; *World Air Conditioning Market*, August 2008
- /JAK07/ Jakobsen, A., Skiple, T., Nekså, P., Wachenfeldt, B. and Skaugen, G. (2007): *Development of a reversible CO₂ residential air conditioning system*, 22nd Int. Congress of Refrigeration, Beijing, August 2007.
- /Joh08/ Johansen, Bent; *Applications and Experience with Natural Refrigerants Carbon Dioxide/ CO₂ and Hydrocarbon R-1270*; ; 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Copenhagen, Denmark 7-10 September 2008.
- /Kas08/ Kasayer, E. Bou Lawz and Clodic, D.; *ID Analysis of CO₂ Sub-Cooled/Supercritical Ejector Refrigeration Cycle: Experimental Results*; 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Copenhagen, Denmark 7-10 September 2008.
- /Kau08/ Kaufeld, Michael and Harnisch, M. J. et al; *Environmental Impact of Various Alternative Supermarket Refrigeration Systems*; 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Copenhagen, Denmark 7-10 September 2008.
- /Kel97/ F. Keller, *Unit Population and Refrigerant Inventory Predictions Using Product Life Models*, *Special Report to TOC*, November 1997.
- /Kel04/ Keller, Fred J. , *Modeling of Air Conditioning HCFC Emissions Using Product Life Models*, Post IPCC-TEAP 3LAM Workshop, Organized by JICOP and Ozone Layer Protection Policy Offices Office (METI), Toranomon Pastoral, Tokyo, Japan, July 1, 2004.
- /Kin08/ Kinab, Elias; *Seasonal Coefficient of Performance of Heat Pumps*; International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14-17, 2008.
- /Koy08/ Koyma, S. and Xue, J. et al; *An Experimental Study of the Cooling Performace of a CO₂ Cycle with an Internal Heat Exchanger*; 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Copenhagen, Denmark 7-10 September 2008.
- /Li00i/ Li, H., and Rajewski, T. E., *Experimental Study of Lubrication Candidates for the CO₂ Refrigeration System*, Proc. of the 4th IIR–Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Purdue University, West Lafayette, IN, July 25-28, pp. 438-445, 2000.
- /Li00ii/ Li, D et al; *Performance of a Carbon Dioxide-Based Environmental Control Unit (ECU) for the US Army*; Eighth International Refrigeration Conference, Purdue, West Lafayette, IN USA, 25-28 July 2000.
- /Liu08/ Liu, F. and Groll, E.; *Investigation of a Two-Phase Flow Ejector in a Transcritical CO₂ Air Conditioning System*; 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids,

Copenhagen, Denmark 7-10 September 2008.

- /Min08/ Minor, Barbara and Spatz, Mark; *HFO-1234yf Low GWP Refrigerant Update*; International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14-17, 2008.
- /Mul08/ Muller, R. and Eggers, R.; *Heat Transfer Characteristics of CO₂-Oil Mixtures*; 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Copenhagen, Denmark 7-10 September 2008
- /Nek01/ Neksa, Peter, *Prospective for the Use of CO₂ in Refrigeration and Heat Pump Systems*, Trondheim, 23-25 March 2001.
- /Peu08/ Peuker, Jennifer and Hrnjak, Predag; *Investigation to Improve Efficiency of Transcritical R744 Two-Stage Vapor Compression Systems*; International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14-17, 2008.
- /Pog08/ Poggia, Macchi-Tejedaa, Leducqa, Bontemps; *Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction*, International Journal of Refrigeration, Volume 31, Issue 3, May 2008, Pages 353-370.
- /Riv08/ Riviere, P. et al; *Preparatory study on the environmental performance of residential room conditioning appliances (airco and ventilation) - Technical Analysis Of Best Available Technology*; Contract TREN/D1/40-2005/LOT10/S07.5660, July 2008.
- /Sab09/ Sabine, S, Barrault, S. and Clodic, D.; *Stationary Air Conditioning Assumptions and Results – Working Document*, Ecole des Mines Paris, 28 November 2009.
- /See06/ Seeton, Chris, *Lubricants for CO₂*, USNC/11R Short Course, Purdue University, West Lafayette, IN, USA, 15-16 July 2006.
- /Spa10/ Spatz, M. and Motta, S.Y. et al; *Low Global Warming Alternative Refrigerants for Stationary AC&R Applications*; 2010 International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology, 17 – 19 February 2010, Tokyo, Japan.
- /UNE05/ IPCC and TEAP, *Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System, Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons*, Intergovernmental Panel on Climate Change Technology and Economic Assessment Panel, 2005.
- /UNE10/ *Decision XIX/8: Alternatives to HCFCs at High Ambient Temperatures*, UNEP Refrigerant Technical Options Committee special report, April 2010.
- /Wan08/ Wang, Hongli and Ma, Yitai et al; *Performance Comparison of Transcritical CO₂ Single Compression and Two Stage Compression Cycle with Intercooler*; 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Copenhagen, Denmark 7-10 September 2008.
- /Xie08/ Yingbai, Xie, and Sun, G. et al; *Thermodynamic Analysis of CO₂ Supercritical Two-Stage Compression Refrigeration Cycle*; International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14-17, 2008.
- /You03/ Youbi-Idrissi, M., Bonjour, J., Terrier, M., *Solubility of CO₂ in a Synthetic Oil*, 21st IIR International Congress of Refrigeration, Washington D.C., USA, August 17-22, 2003.

Capítulo 8

Bombas de calor

Autor Principal do Capítulo

Makoto Kaibara

Coautores

Michael Dieryckx

Peter Nekså

Colaboradores

Fred J. Keller

James M. Calm

Daniel Colbourne

Michael Kauffeld

Alexander C. Pachai

Kenneth E. Hickman

Roger Nordman

8 Bombas de calor de aquecimento de água

8.1 Introdução

As bombas de calor são capazes de levantar ("bombear") calor de uma temperatura mais baixa para um nível de temperatura útil maior. O calor é usado para aquecimento de espaços, aquecimento de água de serviço (inclusive doméstico) e aquecimento no processo de fabricação. As fontes de calor são geralmente fontes de energia renováveis, como calor ambiente, calor da água ou de uma fonte do solo. Mais comumente, a fonte é calor do ar, da água ou do solo. O dissipador pode ser ar ou água. Este capítulo trata somente de sistemas em que a água é o dissipador. Os produtos para aquecimento de processos industriais são discutidos no capítulo 5, "Sistemas industriais". Bombas de calor ar-a-ar são as mais utilizadas bombas de calor. Sua construção e utilização de refrigerante é semelhante à de condicionadores de ar, por isso elas são discutidas no Capítulo 7 "Condicionadores de ar e bombas de calor ar-a-ar".

A diferença entre a temperatura da fonte e do dissipador (chamada "lift" ou "head") define a condição básica de aumento de pressão que o compressor deve atender. A energia de compressão é uma fração da energia útil total entregue. O consumo de energia das bombas de calor é ditado pela capacidade de aquecimento necessária das bombas de calor, pelo lift e pela eficiência do compressor/controlador. A potência de bombeamento da água aquecida e a potência do ventilador devem ser incluídas para determinar o consumo de energia de todo o sistema da bomba de calor. Em geral, os sistemas de bomba de calor são menos eficientes sob condições de alto lift.

As bombas de calor são, em muitas aplicações, uma alternativa ao gás combustível fóssil ou a caldeiras de combustão de petróleo, resultando frequentemente em uma redução significativa na emissão de CO₂ e no consumo de energia primária.

Bombas de calor ar-a-água apresentaram um crescimento significativo no Japão, na Europa, na China e na Austrália nos últimos cinco anos. No Japão e na Europa, esse crescimento significativo foi reforçado por políticas governamentais de incentivo ao desenvolvimento e à venda de produtos que utilizam fontes de energia renováveis /JRA09a/. Segundo estimativas de uma importante publicação sobre comércio do Japão, mais de um milhão de bombas de calor ar-a-água foram vendidas em todo o mundo em 2008 /JARN09/. Esse total pode ser dividido como 500 mil no Japão, 300 mil na Europa, 190 mil na China e 10 mil nos EUA e na Austrália /JARN09/. Os Estados Unidos também usam grandes quantidades de bombas de calor com circuito de água em edifícios comerciais e institucionais, com adição e remoção de calor para o circuito conforme necessário de acordo com a estação e até mesmo com o dia.

8.2 Tipos de bombas de calor

As bombas de calor são classificadas por fonte de calor (ar, água e solo) e por dissipador de calor (ar, água), resultando na nomeação de bombas de calor que se encontra na tabela 8-1, usada neste capítulo.

Tabela 8-1 Classificação de bombas de calor

		Fonte de calor (sistema de expansão direta ou expansão indireta)		
		Ar	Água	Solo
Dissipador de calor	Ar	Ar a ar	Água a ar	Solo a ar
	Água	Aquecedor de água	Ar a água	Água a água
		Aquecedor de espaços		
Combinado	Solo a água			

Bombas de calor com fonte de ar são equipadas com bobinas e ventiladores do evaporador ar-a-refrigerante para obter o calor do ar ambiente. Bombas de calor com fonte de água são equipadas com evaporadores água-a-refrigerante e com uma bomba de circulação de água para obter calor de uma fonte de água. As bombas de calor com fonte do solo são geralmente equipadas com um evaporador salmoura-a-refrigerante e salmoura para tubos do solo combinados com uma bomba de circulação ou com tubos de evaporador refrigerante-a-solo para obter calor a partir do solo. Os tubos no solo são instalados horizontalmente de um a alguns metros abaixo do nível do solo ou instalados em um furo vertical, normalmente com 50-150 m de profundidade.

A maioria das bombas de calor são movidas por motores elétricos, mas unidades com motores a gás são usadas em alguns casos. Também é possível classificar as bombas de calor por tipos, dependendo do uso:

- 1) Aquecedores de água de bomba de calor (HPWH)
- 2) Bombas de calor de aquecimento de espaços
- 3) Bombas de calor combinadas para aquecimento de água e espaços

8.2.1 Aquecedores de água de bomba de calor (HPWH)

Aquecedores de água de bomba de calor (HPWH) são uma categoria de bombas de calor projetadas para aquecer água doméstica e para outros serviços a temperaturas entre 55 e 90°C. Essas temperaturas de funcionamento devem ser consideradas no momento da escolha do refrigerante.

Uma HPWH consiste basicamente de um tanque de armazenamento de água e de uma unidade de aquecimento de água de bomba de calor e, em alguns *designs* de um permutador de calor adicional. Na unidade de bomba de calor, a água fornecida a partir do tanque de armazenamento ou diretamente do abastecimento de água da cidade é aquecida pelo condensador ou, para ciclos transcritos, utilizando R-744, o refrigerante gás do circuito de refrigerante e depois é devolvida ao tanque de armazenamento. A água quente armazenada é fornecida a cada ponto de abastecimento, em resposta à demanda. Os componentes básicos da unidade de bomba de calor são: um compressor acionado por motor elétrico, um condensador ou refrigerador de gás para aquecimento de água, um evaporador para absorver o calor da fonte de calor, refrigerante, um dispositivo de expansão de refrigerante e uma unidade de controle. Unidades de bomba de calor que utilizam R-744 como refrigerante usam tipicamente um permutador de calor interno adicional e, em alguns casos, um ejetor ou expensor para melhorar a eficiência energética /Cal84, Koy08/.

A fim de obter altas temperaturas de água a baixas temperaturas no ambiente externo, sistemas de bombas de calor ar-a-água podem utilizar uma sistema de refrigeração em cascata com dois fluidos refrigerantes diferentes.

8.2.2 Bombas de calor de aquecimento de espaços

Uma bomba de calor de aquecimento de espaços é otimizada para o aquecimento de conforto. O aquecimento de conforto aquece o ambiente por meio do aquecimento da água para distribuição a uma unidade de tratamento de ar, a um radiador ou a um painel sob o piso. A temperatura necessária da água depende dos tipos de emissor de aplicação de temperatura baixa, variando de 25 a 35 °C para o aquecimento sob o piso; para aplicações de temperatura moderada, como unidades de tratamento de ar, fica em torno de 45 °C; para aplicações em alta temperatura, como aquecimento por radiação ela é de 55 a 60 °C e, para aplicações em temperatura muito alta, ela pode chegar a 65-80 °C, por exemplo, para o mercado de substituição de caldeiras de combustível fóssil. A temperatura da água quente necessária afeta a escolha do refrigerante. Sistemas de bomba de calor são mais eficientes em temperaturas de dissipação mais baixas, mas cada produto deve cumprir com a temperatura de operação requerida.

Uma bomba de calor de aquecimento de espaço com água quente para a distribuição é geralmente constituída por uma unidade de bomba de calor e, muitas vezes, por uma unidade de permutador de calor adicional e por um tanque de armazenamento de água. Várias configurações diferentes são usadas. Na unidade de bomba de calor, os componentes básicos do sistema de aquecimento

de espaço de uma bomba de calor são: um compressor acionado por motor elétrico, um condensador ou refrigerador de gás para aquecimento de água, um evaporador, refrigerante, um dispositivo de expansão de refrigerante e uma unidade de controle.

Bombas de calor com fonte de solo ou água também são utilizadas para o aquecimento de espaços, mas elas representam um pequeno segmento do mercado total de bombas de calor.

8.2.3 Bombas de calor combinadas para aquecimento de espaços e água

Bombas de calor combinadas para aquecimento de água e espaços têm duas funções: fornecer água quente da torneira e fornecer aquecimento de espaços. Existem várias configurações de bombas de calor combinadas para aquecimento de espaços e de água para otimizar a eficiência energética sazonal. Na maioria das configurações, um tanque de armazenamento de água é usado para armazenar a água quente doméstica e também para atuar como um armazenamento de calor de curto prazo para a função de aquecimento de espaços.

8.2.4 Intervalos de capacidade de bombas de calor para aquecimento de água e de espaços

A Tabela 8-2 lista o intervalo de capacidade de aquecimento oferecido por unidades independentes de cada tipo de bomba de calor.

Tabela 8-2: Intervalos de capacidade de bombas de calor

Tipo de bomba de calor	Intervalo de capacidade (kW)
Aquecedor de água de bomba de calor	1,5 – 50
Bomba de calor de aquecimento de espaços	4 – 400
Bomba de calor combinada para o aquecimento de água e espaços	6 – 45

8.3 Implicações e tendências de bombas de calor

8.3.1 Tendências de substituição de sistemas de queima de combustível ou gás por bombas de calor

A maioria dos sistemas de aquecimento de ambientes e de água do mundo usam combustíveis fósseis. Como os sistemas de queima de combustíveis fósseis geram CO₂ durante a combustão, eles contribuem para o aquecimento global. As bombas de calor também contribuem para o aquecimento global, mas de maneira diferente. As bombas de calor transferem calor de uma fonte temperatura mais baixa para um dissipador de alta temperatura. A contribuição para o aquecimento global está apenas relacionada às emissões de CO₂ na geração de energia elétrica para acionar o compressor e a possíveis contribuições diretas devido às emissões de refrigerante. Portanto, a eficiência energética das bombas de calor é a principal consideração ambiental em favor das bombas de calor. Bombas de calor eficientes podem reduzir o impacto do aquecimento global em comparação com sistemas de queima de combustíveis fósseis de forma significativa. A redução depende do nível de eficiência da bomba de calor e da emissão de carbono por kWh de geração de eletricidade.

A tendência de descarbonização da energia elétrica fortalece esse efeito positivo a cada ano. Também os níveis de eficiência das bombas de calor estão melhorando ano a ano. No entanto, as bombas de calor tendem a ter maiores custos do que os sistemas de combustíveis fósseis, porque empregam complicados circuitos de refrigerante, trocadores de calor maiores e outras características especiais. A maioria dos compradores ainda não aceita os custos iniciais significativamente mais elevados das bombas de calor como meio de reduzir os custos de funcionamento, em comparação com um custo inicial mais baixo dos sistemas de aquecimento de espaços e de água baseados em combustíveis fósseis.

No entanto, programas governamentais de apoio na Europa e no Japão para promover sistemas de

bomba de calor resultaram em um crescimento rápido das vendas de sistemas de bomba de calor nos últimos anos.

Na Europa, cerca de 40% de toda a energia primária é utilizada em edifícios, da qual cerca de 75% é usada para o aquecimento de espaços e de água quente doméstica. O uso de energia é responsável por quase 80% de todas as emissões de equivalentes de CO₂ /EHPA09/. Na Europa, as bombas de calor são consideradas a melhor tecnologia disponível para o aquecimento de espaços. Elas contribuem para a redução tanto no uso de energia primária quanto nas emissões de CO₂. Alguns acreditam que haverá um aumento rápido nas aplicações de bomba de calor na Europa.

Na Suécia, mais de 75% de todos os novos sistemas de aquecimento de edifícios agora instalam bombas de calor /EHPA09/.

Como resultado de desenvolvimentos tecnológicos recentes, bombas de calor com fonte de ar tornaram-se o tipo de bomba de calor mais popular na Europa. Elas apresentam forte crescimento ao longo dos últimos anos por causa de seus benefícios econômicos e de eficiência energética. Os aspectos ambientais positivos e o potencial de crescimento do mercado de bombas de calor devem ser tomados em conta quando as opções de refrigerante e limitações forem consideradas. Em comparação com os números de 2008, espera-se que o mercado de bombas de calor na Europa seja duplicado até 2015 e cresça 7 vezes até 2030. O total de equipamentos instalados na Europa, em relação a 2008, será 3 vezes maior em 2015 e 16 vezes maior em 2030 /EHPA09/.

Com base nas novas normas de eficiência e análises utilizadas no desenvolvimento desses requisitos nacionais, a venda total estimada de HPWHs nos EUA será de 10.000 unidades por ano em 2010, 260.000 unidades por ano até 2015, e – embora um pouco especulativa – 270.000 ou mais unidades por ano até 2020 /Amr10/.

8.3.2 Aquecedores de água de bomba de calor de CO₂

Aquecedores de água de bomba de calor com uso de refrigerante R-744 se tornaram muito populares nos últimos anos no Japão sob o nome comercial "*Eco-cute*" e foram também introduzidos na Europa. Esses aquecedores de água de bomba de calor com R-744 foram lançados em 2001. De 2001 até outubro de 2009, um total de dois milhões de unidades foram vendidas no Japão, com vendas anuais de 500.000 unidades em 2008. A meta para 2020 é 10 milhões de unidades /JRA09a, JRA09b/.

Este crescimento é resultado de: sua eficiência relativamente alta para aquecimento de água até 90°C (sem aquecedor suplementar), uma tarifa noturna muito baixa para a eletricidade e incentivos do governo, no intervalo de capacidade até 12 kW. Os japoneses têm uma cultura de tomar banho quente todos os dias. Isso resulta em uma demanda significativa por água quente. Para atender a essa grande demanda dentro de um tempo limitado (tarde da noite, quando as tarifas elétricas são mais baixas) e com capacidade limitada do tanque de armazenamento, uma temperatura de água de aproximadamente 90°C é necessária. O R-744 como fluido refrigerante tem muito bom desempenho em condições que exigem uma grande diferença de temperatura da água a ser aquecida. Portanto, o R-744 é ideal para aquecedores de água de bomba de calor com pequenos tanques de armazenamento. O desempenho do "*Eco-cute*" foi melhorado pelo uso de tecnologias novas e já existentes, como trocador de calor de contrafluxo para atingir altas temperaturas pelo uso da grande variação de temperatura do R-744, compressor de velocidade variável, trocador de calor interno e ejetor para melhorar a eficiência /Koy08/.

Recentemente, um método de avaliação para a definição do fator anual de desempenho de aquecedores de água de bomba de calor foi estabelecido no Japão. Esse método considera o uso de água quente da torneira típico do estilo de vida japonês.

HPWHs para uso comercial com R-744 são produzidos por vários fabricantes, dentro e fora do Japão.

8.4 Opções atuais de refrigerante para bombas de calor de aquecimento de água e de espaços

Aquecedores de água de bomba de calor dedicados (HPWHs) – exclusivamente para aquecimento de água doméstico e para outros tipos de serviço – foram introduzidos comercialmente em 1950 nos EUA, mas a produção foi interrompida. O interesse retornou em meados dos anos 1970, após o primeiro Embargo de Petróleo da OPEP, e havia pelo menos 17 fabricantes no início dos anos 1980 com mais de 23.000 unidades em uso nos EUA /Cal84/. A maioria empregava HCFC-22 como refrigerante.

O interesse na tecnologia novamente diminuiu, principalmente devido ao aumento dos custos de equipamentos, embora estudos mostrem bom desempenho e economia de energia média de 48% /Cal84, Dob84/.

O interesse comercial nos EUA retornou no final de 2009 e em 2010. Três grandes fabricantes e vários outros fabricantes menores começaram a comercializar *designs* integrais novos e mais eficientes em 2010. Esses novos produtos usam HFC-134a ou R-410A como refrigerante, mas a proporção entre eles é incerta /Amr10/.

As bombas de calor de aquecimento de espaço foram desenvolvidas (principalmente na Europa) para substituir os sistemas de queima de combustíveis fósseis ou sistemas diretos de aquecimento resistivo de espaços. As bombas de calor de aquecimento de espaços são projetadas para fornecer água a temperaturas diferentes, dependendo do tipo de calor interno, do emissor, como radiadores para água de temperatura alta ou moderada, bobinas de ventilação para água de temperatura moderada ou aquecimento no subsolo para água de baixa temperatura.

Bombas de calor de aquecimento de espaços de temperatura alta e moderada foram oferecidas com HCFC-22 como refrigerante. Com a implementação do Protocolo de Montreal, as misturas de HFC R-410A e R-407C passaram a ser utilizadas como alternativas para o HCFC-22, principalmente na Europa.

8.4.1 HCFC-22

O HCFC-22 é uma ODS com elevado potencial de aquecimento global. O HCFC-22 tem propriedades termodinâmicas favoráveis e alta eficiência nestas aplicações. Por isso, é utilizado para bombas de calor de aquecimento de água e espaços a temperatura alta e moderada nos países do Artigo 5, principalmente na China.

8.4.2 HFC-134a e as misturas de HFC R-407C e R-410A

HFC-134a e as misturas de HFC R-407C e R-410A são substâncias que não destroem a camada de ozônio e têm PAG no mesmo intervalo que o HCFC-22. Esses refrigerantes estão sendo usados em bombas de calor de aquecimento de espaços e de água de temperatura alta a baixa em países onde a redução do consumo de HCFC-22 foi iniciada em cumprimento com o Protocolo de Montreal. Esses fluidos refrigerantes são usados principalmente na Europa. R-134a e R-410A também são usados no Japão, no Canadá e nos Estados Unidos e, em menor grau, no México e nos países do Caribe. O R-407C é utilizado essencialmente para substituir o HCFC-22 em modelos de produtos existentes, pois as mudanças de *design* necessárias são mínimas. O R-410A é usado principalmente para novos produtos, porque mudanças de *design* são necessárias para tratar de suas pressões operacionais mais elevadas e maior densidade e para tirar proveito de seu melhor desempenho.

Recentemente, as bombas de calor em cascata com HFC-134a e R-410 vêm sendo ser comercializadas para bombas de calor de aquecimento combinado de espaços e de água de alta temperatura na Europa. Essas bombas de calor têm desempenho relativamente bom e podem funcionar sem aquecedores resistivos auxiliares.

A bomba de calor pode fornecer água a temperaturas próximas de 80°C.

8.4.3 Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos HC-290 e HC-600a são refrigerantes não ODS com PAG muito baixo, mas esses fluidos refrigerantes têm alta inflamabilidade, sendo classificados como refrigerantes A3 de acordo com a norma 34 da ASHRAE. O HC-290 tem propriedades de refrigerante semelhantes às do HCFC-22. Hoje em dia, o HC-290 e o HC-600a são utilizados em um número limitado de bombas de calor de aquecimento de espaços de temperatura alta e moderada na Europa. Até 2004, quase a metade das bombas de calor vendidas na UE usavam HC-290. O uso na Europa vem diminuindo em função da introdução da Diretiva de Equipamento Pressurizado /Pal08/.

8.4.4 R-744 (Dióxido de carbono)

O R-744 é um refrigerante não ODS com PAG muito baixo. O desenvolvimento de bombas de calor com R-744 começou por volta de 1990 /Nek98/. Os aquecedores de água de bomba de calor com R-744 foram introduzidos no mercado do Japão, em 2001, com bombas de calor para aquecimento de água para banho ou sanitária como aplicação principal. Bombas de calor de aquecimento de espaços que operam a temperaturas mais baixas de água em combinação com aquecimento de água quente também foram desenvolvidas, mas a quantidade vendida é menor.

O R-744 opera a pressões muito elevadas, aproximadamente 5 vezes maiores do que o HCFC-22 e 3,5 vezes maiores do que o HFC-410A. Esta é uma vantagem que permite *designs* de sistema mais compactos. A baixa temperatura crítica do R-744 resulta em operação transcítica. O refrigerante R-744 é usado principalmente em aplicações de aquecedor de água de bomba de calor para armazenamento. Pode alcançar uma elevada eficiência ao aquecer água a uma temperatura elevada (90°C). No entanto, o R-744 não é muito usado no aquecimento de espaços, porque as bombas de calor de aquecimento de espaços não precisam operar a temperaturas tão elevadas. Em comparação com refrigerantes HFC, muitas modificações de *design* são necessárias para obter um desempenho equivalente com R-744 apenas para o aquecimento de espaços /Nek10/.

O mercado dos aquecedores de água de bomba de calor no Japão tem crescimento estável de cerca de 10 a 20% ao ano. Isto ocorre em função de sua alta eficiência quando há necessidade de água com altas temperaturas, como 90°C.

O apoio de programas governamentais também é um elemento importante. Recentemente, algumas bombas de calor de aquecimento de água que utilizam R-744 também foram introduzidas no mercado europeu.

Embora o mercado atual para bombas de calor para aquecimento de espaços para edifícios comerciais com sistemas combinados de radiador e aquecimento de ar seja limitado, o R-744 é considerado um refrigerante promissor /Nek02/.

8.4.5 R-717 (Amônia)

O R-717 é um refrigerante não ODS e tem PAG muito baixo, mas tem maior toxicidade e características de inflamabilidade inferiores. O R-717 é utilizado principalmente para sistemas de grande capacidade. Também é usado em algumas bombas de calor reversíveis.

8.4.6 Níveis de carga de refrigerante

A Tabela 8-3 abaixo mostra os níveis de carga aproximados para HPWHs e bombas de calor para aquecimento de espaços com vários refrigerantes típicos.

Os níveis de carga podem em um intervalo de valores para cada refrigerante e tipo de bomba de calor, dependendo dos níveis de capacidade, dos níveis de eficiência energética buscados, etc.

Tabela 8-3: Refrigerantes e níveis médios de carga para bombas de calor HPWH e de aquecimento de espaços

Refrigerante	kg/kW
HCFC-22	0,30
HFC-134a	0,40
Misturas de HFC R-410A e R-407C	0,30
Hidrocarbonetos	0,15
R-744	0,15

8.5 Opções de refrigerante futuras para novas bombas de calor

Ao escolher refrigerantes alternativos, tanto os impactos climáticos diretos quanto os indiretos devem ser considerados. Os efeitos diretos a serem levados em conta são destruição do ozônio e desempenho de aquecimento global resultante das emissões de refrigerante. Os efeitos climáticos indiretos que devem ser levados em conta são as emissões de carbono resultantes da produção da energia elétrica necessária para o funcionamento dos equipamentos. Estes devem ser avaliados ao longo da vida útil do equipamento. Para bombas de calor, a redução nas emissões resultantes da substituição da queima de combustíveis fósseis pode ser o fator mais importante em termos de emissões de gases de efeito estufa. O método de Desempenho Climático do Ciclo de Vida (*Life-Cycle Climate Performance*, LCCP) pode ser aplicado /UNE05/ para avaliar os efeitos combinados. Também propriedades como toxicidade, inflamabilidade, propriedades termofísicas, estabilidade química, toxicidade aquática de produto de decomposição, pressão e densidade devem ser levadas em conta.

Opções futuras de refrigerante para novas bombas de calor incluem as opções atuais R-410A, HFC-134a, HC-290, HC -600a, R-744 e R-717, bem como HFC-32 e novos refrigerantes.

Estudos dos fluoroquímicos de baixo PAG (principalmente HFCs insaturados – consulte o capítulo 2 "Refrigerantes") em bombas de calor estão em curso, especialmente em vários países europeus, no Japão e nos EUA. Estudos semelhantes estão em andamento para avaliar o uso ou o uso mais amplo de R-744 e hidrocarbonetos como fluidos refrigerantes em vários tipos de bombas de calor, embora o efetivo desenvolvimento e a comercialização do produto estejam limitados à Europa e ao Japão no momento.

8.5.1 HFC-134a e as misturas de HFC R-407C e R-410A

A maioria dos novos produtos de bomba de calor usa o refrigerante R-410A, porque resulta em sistemas mais compactos e eficientes quando são otimizados. A transição do HCFC-22 para o R-407C e o R-410A em bombas de calor está bem encaminhada nos países desenvolvidos. A transição está apenas começando nos países do Artigo 5, que têm datas posteriores para a eliminação do HCFC-22. O refrigerante HCFC-22, porém, ainda é muito utilizado nesses países.

Recentemente, sistemas em cascata de *split* ar-a-água são colocados no mercado utilizando R-410A para temperatura baixa e HFC-134a para o circuito de alta temperatura. Eles garantem COP sazonal alta para climas mais frios, mesmo em temperaturas elevadas do dissipador de água, mantendo a capacidade de aquecimento necessária sem aquecedores resistivos auxiliares. São especialmente úteis para o aquecimento combinado de espaços e de água quente para substituir os sistemas de caldeiras existentes.

8.5.2 HFC-32

O HFC-32 é um refrigerante não ODS. É um dos principais componentes do R-410A. Tem menor PAG que o HCFC-22 ou o R-410A, aproximadamente um terço daquele do HCFC-22 e do R-410A. Além disso, o HFC-32 tem eficiência operacional maior do que o HCFC-22 e o R-410A /Shi01/. Tem pressões de saturação ligeiramente mais elevadas do que o R-410A, que são

aproximadamente 60% maiores do que as do HCFC-22. A carga de refrigerante do sistema pode ser até 43% menor que a de R22 e 37% menor que a de R-410A, com eficiência energética igual ou maior /YAJ01/. Tem baixa inflamabilidade, com baixa velocidade de queima.

8.5.3 HFC-1234yf e outras misturas de HFC com baixo PAG

HFC-1234yf é uma substância que não destrói a camada de ozônio e é semelhante em propriedades termofísicas ao HFC-134a, mas tem um PAG muito baixo de cerca de 4 /Min08/. Para bombas de calor para aquecimento de água e de espaços que usam HCFC-22, R-410A, R-407C, mudanças de design significativas seriam necessárias para otimizar para o uso de HFC-1234yf. Algumas das mudanças necessárias incluem: compressores de deslocamento maiores, maior tubulação de interligação e do trocador de calor e maior superfície de trocador de calor para compensar a menor transferência de calor. A transferência de calor deve ser menor do que a de sistemas com R-410A em função de sua pressão de saturação mais baixa. A queda de pressão relativamente mais elevada nos tubos de refrigerante e no trocador de calor resulta em baixa eficiência às temperaturas elevadas típicas para aquecedores de água de bomba de calor. O HFC-1234yf tem baixa inflamabilidade, com baixa velocidade de queima. Vários outros produtos químicos insaturados estão sendo identificados na literatura de patentes como possíveis refrigerantes com baixo PAG para bombas de calor. Misturas com R-32 ou R-125 podem tornar possível atingir propriedades semelhantes às do HCFC-22 ou do R-410A, mas resultam em maior PAG do que o HFC-1234yf puro. Como a fonte de amostra desses refrigerantes é muito limitada, é muito cedo para julgar se algum desses produtos químicos será comercializado e irá mostrar desempenho aceitável em sistemas de bomba de calor.

8.5.4 R-744 (Dióxido de carbono)

No passado, o R-744 não era usado em bombas de calor de aquecimento de água e espaços em função de suas características de alta pressão /Fer08/. Desde que as bombas de calor de aquecimento de água foram introduzidas no Japão em 2001, seu mercado no Japão tem experimentado um crescimento constante de cerca de 30% ao ano, com a ajuda de um programa de aprimoramento do governo /JRA09a/. O R-744 como refrigerante permite aquecimento de água doméstica de alta eficiência até a temperatura de até 90°C sem o uso de um aquecedor resistivo auxiliar. O R-744 pode gerar alto desempenho quando utilizado com fontes de baixa temperatura e dissipadores de alta temperatura com determinada diferença de temperatura entre a água de entrada e de saída /Ste08/. Isso o torna adequado para utilização em aquecedores de água de bomba de calor para armazenamento em que a água de entrada de baixa temperatura é aquecida a uma temperatura elevada para armazenamento térmico de água quente doméstica. Um crescimento de mercado contínuo é esperado no Japão. Além disso, esses produtos podem ter sucesso de mercado em outros países.

Obter uma elevada eficiência para aplicação doméstica de aquecimento de espaços é um desafio se a diferença entre as temperaturas de água alta e baixa do dissipador de calor é pequena. São necessários *designs* de sistemas que permitam uma baixa temperatura de retorno de água /Nek10/. No entanto, recentemente, bombas de calor com R-744 foram desenvolvidas para uso na Europa, em climas frios, se combinadas com o uso de um tipo de aquecimento de espaço com radiador de temperatura muito elevada. Para edifícios comerciais com sistemas combinados de radiador e aquecimento de ar, o R-744 é um refrigerante muito promissor /Nek02/. Isso também vale para novos edifícios de baixo consumo energético, nos quais a demanda por água quente doméstica é grande em comparação com a necessidade de aquecimento de espaço. Não se sabe o nível de penetração que as bombas de calor de aquecimento de espaços com R-744 atingirão no mercado. A aceitação final no mercado será determinada pelo aspecto econômico e pelo Desempenho Climático do Ciclo de Vida do sistema.

8.5.5 Hidrocarbonetos

No momento, o HC-290 é vendido em um número relativamente limitado de instalações de aquecimento de água com bomba de calor de baixo nível de carga na Europa. Para sistemas hidráulicos, com configuração de recintos ventilados, maiores cargas de refrigerante são permitidas. Nessas aplicações, sistemas de maior capacidade podem ser usados com

hidrocarbonetos.

8.5.6 R-717 (Amônia)

A amônia é utilizada principalmente para sistemas de grande capacidade. Também é usada em algumas bombas de calor reversíveis. A amônia provavelmente não será usada em bombas de calor de aquecimento de água e de espaços de baixa capacidade devido ao custo que a torna inviável e à impossibilidade de fabricar sistemas tão pequenos, devido à indisponibilidade de compressor hermético para a amônia e à incompatibilidade com o cobre.

8.6 Referências

- /Amr10/ Amrane, K, unpublished private communication, Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute (AHRI), Arlington, VA, USA, July 2010
- /Cal84/ Calm, J. M., “Heat Pump Water Heaters” in *Heat Pump Research and Applications*, report EM-3797, Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA, USA, pp. 14.1-14.9, November 1984
- /Dob84/ Dobyns, J. E. and M. H. Blatt, “Heat Pump Water Heaters”, report EM-3582 Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA, USA, May 1984
- /EHPA09/ Forsen M and T. Nowak, European Heat Pump Statistics Outlook, European Heat Pump Association, Belgium, 2009
- /Fer08/ N. FERNANDEZ, Y. HWANG*, R. RADERMACHER Center for Environmental Energy Engineering, Department of Mechanical Engineering, University of Maryland
PERFORMANCE OF CO2 HEAT PUMP WATER HEATERS, 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids September 7-10, 2008
- /JARN09/ Japanese Air Conditioning, Heating and Refrigeration News; *World Heat Pumps and Key Components*, Special Edition August 25, 2009
- /JRA09a/ The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association; *Statistics of heat pump water heater in 2008*, June, 2009
- /JRA09b/ The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association; *Statistics of heat pump water heater...*, November, 2009
- /Min08/ Minor B. H. and T. J. Leck, DuPont Fluoroproducts, U.S.A. *Low GWP Refrigerant Technology Update*, The International Symposium on New Refrigerants and Environmental Technology (Kobe, Japan), November 20-21 2008
- /Nek98/ Neksa, P., Rekstad, H., Zakeri, G.R. and Schiefloe, P.A.: *CO2 – heat pump water heater: characteristics, system design and experimental results*, Int. J. Refrig. Vol. 21, No. 3, pp.172-179, 1998
- /Nek02/ Neksa, P.: *CO2 Heat Pumps*, International Journal of Refrigeration, Vol 25, Issue 4, June 2002, p 421-427, 2002
- /Nek10/ Neksa, P., Walnum, H. and Hafner A.: *A refrigerant from the past with prospects of being one of the main refrigerants in the future*, 9th IIR Gustav Lorentzen Conference 2010, Sydney, April 12-14, ISBN 978-2-913149-74-8, ISSN 0151-1637, 2010
- /Koy08/ S. KOYAMA, J. XUE, N. TAKATA, K. KUWAHARA Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University, *An Experimental Study On The Cooling Performance Of A CO2 Cycle With An Internal Heat Exchanger*, 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids September 7-10, 2008
- /Pal08/ Palm, B. (2008) *Hydrocarbons as refrigerants in small heat pump and refrigeration systems-a review*, Int. J. of Refrigeration 31, 2008
- /Shi01/ T Shigeharu, Y Ryuzaburo, K Shigeru, (2001) *The Performance Evaluation of Room Air Conditioner using R32 In the Case of Cooling and Heating Mode*, Trans JSRAE, Vol.18; No.3.
- /Ste08/ J. Stene, SINTEF Energy Research, Department of Energy Processes, Norway, *CO2 Heat Pump System for Space Heating and Hot Water Heating in Low-Energy Houses and Passive Houses*, 8th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids September 7-10, 2008
- /UNE05/ IPCC and TEAP, *Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System, Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons*, Intergovernmental Panel on Climate Change Technology and Economic Assessment Panel, 2005.
- /Yaj01/ R. Yajima, K. Kita, S. Taira, N. Domyo R32 as a solution for energy conservation and low emission , IIR 2000 Purdue

Capítulo 9

Resfriadores

Autor Principal do Capítulo

Kenneth E. Hickman

Coautores

James M. Calm

Guangming Chen

Jim Crawford

Dennis Dorman

Alexander C. Pachai

Andy Pearson

Colaboradores

Daniel Colbourne

Petter Nekså

Akira Ohtsuki

9 Resfriadores

9.1 Função dos resfriadores

O ar condicionado de conforto em grandes edifícios comerciais e complexos de edifícios (incluindo hotéis, escritórios, hospitais, universidades e outros sistemas centrais) é comumente fornecido por resfriadores. Resfriadores esfriam água ou outro fluido de transferência de calor (como uma mistura de água-anticongelante) que é bombeado através dos trocadores de calor em manipuladores de ar ou unidades de bobina de ventilador para o resfriamento e a desumidificação do ar. Resfriadores também são usados para resfriamento de processos em instalações comerciais e industriais, tais como centros de processamento de dados e comunicações, fabricação de produtos eletrônicos, máquinas de precisão e moldagem. O resfriamento distrital é outra aplicação que fornece ar condicionado para edifícios múltiplos através de um grande sistema de distribuição de água gelada, em vez de condicionar o ar de cada edifício com sistemas separados. A operação do resfriador é orientada por requisitos de resfriamento, mas pode ser incluída uma condição de recuperação de calor.

9.2 Tipos de resfriadores

Dois tipos de resfriadores estão disponíveis – resfriadores mecânicos de compressão de vapor e resfriadores de absorção.

9.2.1 Resfriadores mecânicos de compressão de vapor

Os principais componentes de um resfriador de compressão de vapor são um ou mais compressores movidos por motores elétricos (ou, menos frequentemente, motores ou turbinas que usam compressores com motor externo), um refrigerador de líquido (evaporador), um condensador, um refrigerante, um sistema de lubrificação, um dispositivo de expansão do refrigerante e controle de fluxo, um dispositivo de gerenciamento de energia (geralmente uma chave de partida ou interruptor eletrônico de velocidade variável) e uma unidade de controle e proteção. O resfriador completo geralmente é montado e testado na fábrica. Não é necessária qualquer conexão entre as partes que contêm refrigerante no local, pelo instalador, exceto para resfriadores muito grandes que podem ser enviados na forma de várias construções. A instalação é realizada por conexão com sistemas de água, energia e controle.

Os resfriadores de compressão de vapor são identificados pelo tipo de compressor que empregam (compressores centrífugos ou compressores de deslocamento positivo). A categoria de deslocamento positivo inclui compressores de pistão alternativo, compressores de parafusos e compressores *scroll*. Os resfriadores podem ser divididos ainda de acordo com o tipo de trocador de calor do condensador, sendo mais comuns os resfriadores resfriados a água ou a ar. Os condensadores resfriados por evaporação e resfriadores secos são menos comuns.

Os resfriadores resfriados a água geralmente utilizam torres de resfriamento para a rejeição de calor do sistema. Em alguns casos, a água de arrefecimento do condensador pode vir de água de superfície, como lagos e rios, ou de águas subterrâneas. Os arrefecedores secos funcionam como torres de resfriamento, mas a água não é empregada nas superfícies externas de transferência de calor. Os resfriadores arrefecidos a ar são equipados de fábrica com bobinas de condensador refrigerante-a-ar e ventiladores de rejeição de calor para a atmosfera.

Para condensadores arrefecidos por evaporação, o calor do refrigerante de condensação é rejeitado para o ar em uma bobina que é continuamente umedecida do lado de fora por um sistema de água em recirculação. O ar é passado pela bobina, fazendo com que uma pequena porção da água evapore para ajudar a arrefecer a bobina. Não há circulação de água do condensador para o resfriador. A maioria destes resfriadores é fornecida sem o condensador, que é adicionado no campo. Isso exige tubagem de refrigerante no local da instalação.

Os diferentes métodos de rejeição de calor podem ser associados com diferenças de custo inicial, custo de instalação, requisitos de manutenção e temperatura de condensação saturada criada no circuito de refrigeração. A temperatura de condensação é determinada pelo clima – as temperaturas de bulbo seco e/ou bulbo úmido. A diferença entre a temperatura saturada de condensação e a temperatura saturada do evaporador (chamada "*lift*" ou "*head*") define a condição básica de aumento de pressão que o compressor deve atender. O consumo de energia do resfriador é ditado pela capacidade de arrefecimento necessária do resfriador, pelo *lift* imposto pelo clima (ou pela condição de recuperação de calor) e pela eficiência do compressor/controlador. A potência de bombeamento de água resfriada, a potência de bombeamento da água da torre de resfriamento (resfriadores arrefecidos a água) e a potência do ventilador (na torre ou para resfriadores arrefecidos a ar) devem ser incluídas para determinar o consumo de energia total do sistema do resfriador.

Em geral, os sistemas arrefecidos a água e por evaporação podem ser mais eficientes do que os sistemas arrefecidos a ar em muitas condições de funcionamento devido às temperaturas de condensação mais baixas envolvidas. A escolha de resfriadores arrefecidos a água, arrefecidos a ar, com arrefecedores secos ou arrefecidos por evaporação para determinada aplicação varia de acordo com condições regionais, custos de energia e custos de demanda, preferências do proprietário, requisitos de manutenção e orçamento do projeto.

9.2.1.1 Resfriadores de compressores centrífugos

Compressores centrífugos com um, dois e três estágios de compressão são empregados em resfriadores de acordo com a escolha de engenharia e com preferências do fabricante. Compressores de dois e três estágios permitem a adição de um economizador com resfriamento entre estágios para melhorar a eficiência energética. Outras características que podem ser usadas para melhorar a operação do resfriador em uma variedade de cargas de arrefecimento e condições ambientes são: palhetas guia de entrada, interruptores de velocidade variável, passagens de difusor de geometria variável, mancais magnéticos livres de lubrificante, estadiamento ideal (carregamento e controle) de resfriadores múltiplos e armazenamento de energia fora do horário de pico. A aplicação de interruptores de velocidade variável reduz o consumo de energia anual, mas pode diminuir a eficiência de carga total por causa de perdas no inversor e no interruptor.

Os compressores centrífugos são mais comumente utilizados em sistemas resfriados a água, especialmente naqueles com capacidades superiores a 1 mW (300 RT). Resfriadores centrífugos arrefecidos a ar são menos comuns. Eles geralmente requerem pelo menos duas fases do compressor por causa do *lift* maior.

Resfriadores centrífugos normalmente utilizam evaporadores inundados ou de caldeira de tambor com o refrigerante no lado da carcaça dos tubos, embora alguns modelos utilizem evaporadores de filme descendente pulverizados. A água resfriada está confinada ao interior dos tubos, facilitando a limpeza periódica dos tubos de água para eliminar o acúmulo de minerais que reduzem a eficiência. Evaporadores de refrigerante no tubo com água resfriada no lado da carcaça, por vezes denominados evaporadores DX, não são práticos nos grandes sistemas de resfriadores que utilizam compressores centrífugos. Da mesma forma, existe um limite para a escolha de refrigerante. Refrigerantes zeotrópicos, como o R-407C, com alta variação de temperatura podem ser fracionados em evaporadores inundados durante a evaporação ou condensação, criando significativos problemas de desempenho (ver Seção 9.4.1.2.).

9.2.1.2 Resfriadores de compressores de parafusos

Resfriadores de parafusos arrefecidos a ar e a água com capacidades abaixo de 700 kW geralmente empregam evaporadores de expansão direta (DX).

Resfriadores com capacidades acima de 700 kW geralmente empregam evaporadores inundados. Evaporadores inundados geralmente necessitam de cargas maiores que evaporadores DX, mas permitem maior eficiência devido a temperaturas de aproximação mais próximas (a diferença entre a temperatura da água que sai e a temperatura do evaporador saturado). Os resfriadores arrefecidos a ar empregam construção de condensador com aletas e tubos ou condensadores de microcanais derivados da prática automotiva. Os condensadores de microcanais são mais

compactos para determinada capacidade de transferência de calor e permitem o uso de menor carga de refrigerante em um resfriador.

Os compressores de parafusos podem ser equipados com dispositivos de descarga, como válvulas de corredeira ou um mecanismo de porta de descarga que permita uma operação eficiente a taxas de fluxo de volume reduzidas. Mais recentemente, os fabricantes estão utilizando dispositivos de interruptor de velocidade variável com resfriadores de parafusos. A aplicação de velocidade variável baixa o consumo anual de energia, eliminando as válvulas de corredeira e as perdas associadas, mas pode diminuir a eficiência de plena carga devido a perdas de controle eletrônico. Os benefícios da compressão de parafusos (sem os limites de pico presentes em compressores centrífugos) são combinados com os benefícios de interruptores de velocidade variável (carregamento parcial eficiente e *design* mais simples do compressor de parafusos) em sistemas devidamente projetados para produzir consumo de energia sazonal reduzido em sistemas arrefecidos a água e sistemas arrefecidos a ar.

Os compressores de parafusos podem ser equipados com portas de pressão intermediárias para acomodar um economizador no sistema do resfriador. O economizador aumenta a eficiência energética e a capacidade de arrefecimento de um resfriador para determinado deslocamento do compressor. Economizadores se tornam mais eficazes em condições de *lift* mais alto, como aplicações de refrigeração de baixa temperatura ou recuperação de calor (fornecimento de água quente).

9.2.1.3 Resfriadores de compressores scroll

Os compressores *scroll* estão disponíveis em capacidades de 20 kW a 150 kW para uma variedade de refrigerantes. Muitos compressores *scroll* são máquinas de velocidade fixa sem qualquer mecanismo de descarga. No entanto, eles são frequentemente utilizados em conjuntos de tubos de distribuição para um circuito de refrigeração. Isto permite que vários compressores *scroll* sejam usados em resfriadores até 1400 kW. Circuitos e compressores individuais podem ser desativados, possibilitando a modulação da capacidade eficiente. Compressores *scroll* com mecanismos eletromecânicos para descarga estão disponíveis, assim como compressores com interruptores eletrônicos de velocidade variável.

Os resfriadores de compressores *scroll* são produzidos tanto na versão arrefecida a água quanto na versão arrefecida a ar. Para capacidades inferiores a 500 kW, trocadores de calor de placas brasadas são comumente usados para evaporadores, em vez dos trocadores de calor de carcaça e tubo empregados em resfriadores de maiores dimensões. Os trocadores de calor de placas brasadas reduzem o volume do sistema e a carga de refrigerante. Eles também são utilizados como condensadores para pequenos resfriadores arrefecidos a água.

9.2.1.4 Resfriadores de compressores de pistão alternativo

Compressores alternativos são semelhantes em muitos aspectos aos motores de automóveis e podem ser mantidos e reconstruídos de maneira semelhante. Os compressores alternativos têm algumas vantagens para unidades que operam em uma variedade de condições de *lift*, porque, ao contrário dos compressores de palhetas de parafusos, *scroll* e rotativo, eles não têm uma relação de volume fixo. Os resfriadores com compressores alternativos são produzidos tanto na versão arrefecida a água quanto na versão arrefecida a ar. A venda de resfriadores alternativos diminuem ano a ano, embora a produção ainda seja significativo, especialmente para capacidades inferiores e para resfriadores com amônia. Existe um inventário relativamente grande de resfriadores alternativos mais antigos em todo o mundo.

9.2.2 Resfriadores de absorção

A fonte de energia para resfriadores de absorção é o calor fornecido por um queimador de combustível, vapor ou água quente, embora a eletricidade ainda seja necessária para bombas de solução e controles internos. O vapor ou água quente geralmente é fornecido por uma caldeira a combustível ou, menos frequentemente, pelo calor recuperado de processos industriais ou por cogeração. Em resfriadores de absorção, o compressor e o motor do ciclo de compressão de vapor mecânico são substituídos por dois trocadores de calor principais (um gerador e um

absorvedor) e uma bomba de solução. Resfriadores de absorção também têm trocadores de calor do evaporador e do condensador. O refrigerante em grandes sistemas de absorção geralmente é a água e o absorvente geralmente é o brometo de lítio, embora o cloreto de lítio também tenha sido comum no passado e ainda seja usado, embora muito raramente. Resfriadores de absorção podem usar um par de fluidos alternativo: amônia como refrigerante e água como absorvente, principalmente em capacidades menores.

Os resfriadores de absorção são identificados pelo número de níveis de entrada de calor que empregam (por exemplo, efeito único ou duplo efeito) e por serem acionados diretamente pela queima de um combustível ou utilizarem vapor ou água quente como fonte de calor.

Aplicações de absorção de efeito único, com eficiência mais baixa, tipicamente estão limitadas a locais que podem utilizar calor residual sob a forma de água quente ou vapor recuperado como a fonte de energia ou onde caldeiras precisam ser usadas durante todo o ano, como em hospitais. Outros locais incluem sistemas de cogeração em que calor residual ou vapor do motor está disponível. As temperaturas de entrada de fluido quente variam tipicamente de 115°C a 135°C, embora algumas máquinas possam usar temperaturas mais baixas, de até 90°C.

Máquinas de duplo efeito têm um trocador de calor de recuperação de calor adicional e podem ser acionadas por água quente ou vapor, ou ainda ser acionadas por queima direta. As temperaturas de entrada de vapor típicas são de 150°C a 205°C (pressões de vapor de 650 a 1.100 kPa). Resfriadores de absorção de duplo efeito podem ter eficiências baseadas em energia primária de 35 a 45% daquelas de sistemas de compressão de vapor. Por exemplo, resfriadores de absorção de duplo efeito podem ter um coeficiente de desempenho de arrefecimento (COP) de 0,9 a 1,2 em base sazonal com base na entrada de energia da fonte. Sistemas elétricos de compressão de vapor podem ter um COP de até 7,8, que deve, no caso de usinas termelétricas, ser multiplicado pela eficiência de entrega de fonte de calor para eletricidade da usina e do sistema de distribuição – em torno de 35% para geradores movidos a calor, que são predominantes. Pequenos resfriadores de absorção de duplo efeito a gás com capacidade inferior a 105 kW (30 RT) são usados no Japão, com água como refrigerante e brometo de lítio como absorvente.

Máquinas de triplo efeito foram desenvolvidas e são comercializadas, mas não são amplamente utilizadas. O gerador de alta temperatura acionado diretamente nessas máquinas opera a um nível de temperatura de 205°C a 230°C, que aumenta o custo e o nível de pressão dentro dos vasos. Um par de fluidos além de água/brometo de lítio deve ser usado no gerador de fase alta.

9.2.3 Intervalos de capacidades de resfriadores

A Tabela 9-1 lista o intervalo de capacidade de resfriamento oferecido por unidades independentes de cada tipo de resfriador. (A maioria das aplicações, especialmente em capacidades maiores, usa vários resfriadores.)

Resfriadores centrífugos foram o tipo mais comum de resfriador acima de 700 kW de capacidade por muitos anos. Compressores alternativos eram utilizados em resfriadores menores. Os compressores de parafusos em grande medida substituíram os compressores alternativos no intervalo de 140 kW a 700 kW e são alternativas a compressores centrífugos até cerca de 1.800 kW. Os compressores *scroll* são alternativas a compressores alternativos no intervalo de 10 a mais de 100 kW por compressor. Os compressores *scroll* são usados em resfriadores de até 1.400 kW, com 1 a 12 compressores por unidade e vários circuitos de refrigerante. Recursos como novos mecanismos de descarga e interruptores eletrônicos de alta velocidade variável foram introduzidos em quase todos os tipos de compressores, embora não em todos os tamanhos. Operação livre de lubrificante e acionamento direto de alta velocidade foram introduzidos com compressores centrífugos.

Tabela 9-1: Intervalos de capacidades de resfriadores

Tipo de resfriador	Intervalo de capacidade aproximado
Scroll e alternativo arrefecidos a água	10 – 1.200
Parafuso arrefecido a água	100 – 7.000
Parafuso, scroll e alternativo arrefecidos	10 – 1.800
Centrífugo arrefecido a água	200 – 21.000
Centrífugo arrefecido a ar	200 – 7.000
Absorção (geralmente amônia-água)	15 - 90
Absorção (geralmente água-brometo de	20 – 18.000

9.3 Desenvolvimentos e tendências nos mercados de resfriadores

9.3.1 Medidas de eficiência de resfriadores ou uso de energia

A eficiência energética, ou a energia total consumida anualmente, é a principal preocupação ambiental relacionada a resfriadores. Embora cada refrigerante tenha um Potencial de Aquecimento Global (PAG) inerente em relação ao CO₂ (ver Capítulo 2, *Refrigerantes*), os refrigerantes não podem contribuir diretamente para o aquecimento global a menos que sejam liberados para a atmosfera. Resfriadores com manutenção adequada e *design* moderno emitem uma parcela muito pequena de sua carga de refrigerante durante a operação. O principal efeito de aquecimento global causado pelo funcionamento de resfriadores são o CO₂ e os outros gases de efeito estufa emitidos na combustão de combustíveis fósseis que geram a eletricidade para acioná-los. Resfriadores com altas taxas anuais de eficiência reduzem o aquecimento global proporcionalmente /Ca93, San 97/.

Os principais parâmetros utilizados para descrever os efeitos ambientais de operação de resfriadores são o Impacto do Aquecimento Total Equivalente (TEWI) ou o semelhante e conceitualmente mais completo Desempenho Climático no Ciclo de Vida (LCCP). Esses parâmetros são definidos no Capítulo 3 de /IPCC05/ e dados sobre resfriadores estão incluídos no Capítulo 5.2.4 de /IPCC05/.

Outras medidas de desempenho do resfriador incluem o coeficiente de desempenho (COP), que é a razão entre a capacidade de arrefecimento e a alimentação elétrica, ambos expressos em unidades consistentes de energia ou potência. Os COPs podem ser indicados para qualquer condição de funcionamento, mas são comumente citados para a capacidade nominal total. Essa condição estabelece a demanda elétrica de pico que influencia os custos de fornecimento de energia globais e os custos de demanda de energia elétrica pagos pelos usuários, bem como custos de transformadores e interruptores no local, além dos custos de fornecimento de energia relacionados.

Cada tipo de combinação de resfriador e refrigerante tem um nível de COP de referência “melhor da classe” que pode ser comprado. O nível de COP de referência tende a aumentar à medida que o tempo passa e os produtos são melhorados. Os resfriadores com os melhores COPs tendem a custar mais, porque empregam trocadores de calor maiores e/ou outras características especiais. Muitos compradores compram resfriadores de menor custo, com menor COP, que estão de acordo ou são apenas ligeiramente superiores aos níveis mínimos de eficiência impostos por regulamentos, códigos ou normas. Com a preocupação sobre o aumento dos custos de energia e o crescente interesse em sustentabilidade e “construções verdes”, a tendência é a seleção de equipamentos mais eficientes.

Uma medida adicional de desempenho para resfriadores individuais é chamada de Valor Integrado em Carga Parcial (*Integrated Part Load Value*, IPLV). Ela está descrita na Norma 550/590 da ARI (agora AHRI) /ARI03/. A métrica IPLV é uma média ponderada de quatro valores de COP de um resfriador individual, com base na ponderação pelo percentual de

toneladas/hora que, presume-se, serão gastas em cada um de quatro recipientes de diferentes tamanhos para a fração de carga, em que o valor de COP para cada recipiente é representado por uma de quatro frações de carga (25%, 50%, 75% e 100%), cada uma com diferentes condições de *lift* de funcionamento. Na Europa um parâmetro de carga parcial semelhante, ESEER, foi desenvolvido pela Eurovent. Este será substituído, nos próximos anos, por exigências legais provenientes da diretiva de Ecodesign para produtos relacionados à energia cujos métodos de eficiência sazonal para aplicações de resfriamento, aquecimento e refrigeração de resfriadores estejam atualmente estabelecidos.

A publicação prEN14825 inclui valores SEER e SCOP para aplicações de resfriamento e aquecimento de conforto. A China implementou um padrão IPLV em 2005 (GB 50189-2005).

O conceito de IPLV fornece uma medida de desempenho ao longo das estações do ano com cargas parciais e/ou em condições de *lift* reduzido. O IPLV pode ser usado como base para comparação de resfriadores individuais e como meio de estabelecer um parâmetro mínimo de eficiência energética para a aplicação do código. A Norma ARI se aplica a um resfriador individual que fornece uma carga norte-americana de condicionamento de espaço. Pode não ser o indicador de desempenho sazonal mais preciso para resfriadores com outros perfis de carga, como centros de dados, sistemas controlados de forma otimizada com o uso de resfriadores múltiplos ou resfriadores que operam em outras condições climáticas.

9.3.2 Desenvolvimentos no mercado – Resfriadores de compressão de vapor

As sobreposições nos intervalos de capacidades atendidos por resfriadores de parafusos e centrífugos e resfriadores *scroll* X de parafusos estão cada vez maiores. Os resfriadores alternativos estão perdendo cota de mercado rapidamente para resfriadores *scroll* e de parafusos em capacidades pequenas e grandes, respectivamente. O desenvolvimento de compressores de parafusos levou a maiores capacidades e eficiências nessas máquinas.

Compressores *scroll* maiores e conjuntos de compressores *scroll* são utilizados em múltiplos e em combinações de resfriadores modulares conectados para atingir capacidades de até 1.400 kW. Esses resfriadores usam cada vez mais o refrigerante R-410A, substituindo o uso de HCFC-22.

O mercado de resfriadores centrífugos está em crescimento devido a novas construções e à necessidade de substituir resfriadores em mercados desenvolvidos, atender à expansão de infraestrutura em mercados emergentes e servir a aplicações de resfriamento de grandes processos e de condicionamento de ar de fábricas. Uma maior capacidade foi atingida por meio do uso de compressores duplos em um resfriador e do uso de resfriadores múltiplos. Trocadores de contrafluxo de calor com compressores duplos são usados para melhorar a eficiência para resfriadores de grande capacidade. As temperaturas de condensação mais elevadas em climas quentes ou para recuperação de calor/manutenção de bombas de calor são tratadas pelo uso de compressores de vários estágios.

No sul da Europa os sistemas de refrigeração hidrônicos (resfriadores arrefecidos a ar de menor capacidade ou bombas de calor com fonte de ar) são amplamente utilizados. Eles são combinados com unidades de bobina de ventilador com capacidades tão pequenas quanto 10 kW para residências e edifícios comerciais de baixo consumo.

No norte da Europa, resfriadores dos tipos *scroll* ou de parafusos são amplamente utilizados com unidades de tratamento de ar e unidades de bobina de ventilador em edifícios comerciais.

Embora a produção de HCFC seja permitido nos países em desenvolvimento depois de 2010, o uso de HCFC-22 em novos equipamentos está em declínio, permitindo que esses países se beneficiem dos mais recentes modelos e tecnologias disponíveis. Os países em desenvolvimento que desejam exportar produtos para países desenvolvidos têm mais um incentivo para acelerar sua transição do HCFC-22 para outros produtos.

A China é hoje um mercado grande e crescente para resfriadores. O principal mercado é o leste

da China, com mercado de novas construções e também com um emergente mercado de reposição. A maioria dos resfriadores de parafusos e *scroll* ainda usam HCFC-22, mas as novas gerações de resfriadores *scroll* estão sendo projetadas para uso com R-410A e os novos resfriadores de parafusos estão empregando o HFC-134a. A China tem um grande mercado residencial para resfriadores de pequeno porte com ventiloconvectores.

9.3.3 Desenvolvimentos no mercado – Resfriadores de absorção

Resfriadores de absorção são fabricados e comercializados principalmente no Japão, na China, na Índia, na Coreia do Sul e também, para capacidades inferiores a 100 kW, na Alemanha, na Áustria e na Itália.

Sistemas de absorção são fisicamente maiores e têm maior necessidade de energia primária e maior custo inicial que resfriadores de compressão de vapor. Eles podem ter boa relação custo-benefício em aplicações em que o calor residual está disponível na forma de vapor ou água quente, energia elétrica adequada ou confiável não está prontamente disponível para cargas de resfriamento de verão ou em que estruturas de energia elétrica de alto custo, incluindo cargas de demanda, tornam a absorção a gás uma alternativa com menor custo. Resfriadores de absorção podem fornecer aquecimento e resfriamento a partir de uma unidade durante todo o ano sem o uso de refrigerantes de fluorcarbono e com um sistema de fornecimento de energia mais barato que aquele de resfriadores mecânicos.

Os elevados preços do gás natural tornam o processo de desenvolvimento do mercado de sistemas de absorção a queima direta no Japão, na China e na Coreia /JAR 08/. Preocupações com as maiores emissões de CO₂ provenientes de sistemas de queima direta em relação ao impacto do aquecimento global dos resfriadores por compressão de vapor também afetam o mercado.

Trigeração é o conceito de derivar três formas diferentes de energia a partir da fonte de energia primária, ou seja, a geração de aquecimento, resfriamento e energia. O uso de resfriadores de absorção água-brometo de lítio em sistemas de trigeração foi implementado em alguns países. O conceito também é chamado de CCHP (geração combinada de resfriamento, aquecimento, e energia elétrica). Essa opção é particularmente relevante em países tropicais onde os edifícios precisam de ar condicionado e muitas indústrias necessitam de resfriamento e aquecimento de processo. Embora o resfriamento possa ser fornecido por resfriadores elétricos convencionais de compressão de vapor, o calor de baixa qualidade (ou seja, baixa temperatura e baixa pressão) emitido pela planta de cogeração pode acionar os resfriadores de absorção, de forma a reduzir o consumo global de energia primária.

9.4 Escolhas e opções atuais de refrigerante para resfriadores mecânicos de compressão de vapor

9.4.1 Resfriadores de deslocamento positivo

9.4.1.1 HCFC-22

Resfriadores com compressores de deslocamento positivo (compressores de parafusos, *scroll* e alternativos) usavam HCFC-22 como fluido refrigerante de escolha quando começaram a ser produzidos. Devido a seu baixo potencial de destruição do ozônio (ODP), o HCFC-22 era considerado como uma solução de transição para a eliminação do CFC-12 e de outros CFCs. A redução progressiva do uso de HCFCs nos países desenvolvidos teve início em 2004 levando a regulamentos nacionais para a eliminação do HCFC-22 em novos equipamentos até 2010 ou antes. A Europa iniciou a eliminação do HCFC-22 em 2000. Refrigerantes instalados, inventários em estoque e as quantidades recuperadas de equipamentos aposentados podem ser usados para a manutenção de equipamentos existentes por tempo indeterminado se as regras nacionais permitirem. O HCFC-22 ainda é oferecido para resfriadores em países do Artigo 5. O consumo de HCFC deve terminar até 2030 nos países desenvolvidos e até 2040 nos países em desenvolvimento.

9.4.1.2 HFC-134a, R-410A e R-407C

Resfriadores de parafusos com HFC-134a foram introduzidos no início da década de 2000 por diversos fabricantes, antecipando a eliminação do HCFC-22 em 2010. Resfriadores de parafusos com um refrigerante HFC de maior pressão, o R-410, também foram introduzidos. Para resfriadores com compressor *scroll*, os refrigerantes oferecidos atualmente incluem HFC-134a, R-410A e R-407C. O R-410A é atualmente o principal refrigerante, especialmente para novos resfriadores *scroll*.

A mistura zeotrópica R-407C serviu como refrigerante de transição, especialmente em países europeus onde o HCFC-22 foi eliminado por regulamentos antes dos prazos do Protocolo de Montreal. Isso permitiu que os fabricantes oferecessem resfriadores com um refrigerante HFC (ODP zero) em vez do HCFC-22, fazendo pequenas mudanças em seus produtos. Mudanças desfavoráveis na transferência de calor com R-407C exigem trocadores de calor maiores e mais caros para manter o desempenho. O R-407C tem uma variação de temperatura razoável (5-7 K) e, por isso, não é adequado para uso em evaporadores inundados, que predominam em resfriadores maiores. O R-407C ainda é utilizado na Europa e no Japão como substituto para o HCFC-22 e em outros lugares como uma de várias opções de fluido de serviço para o *retrofit* de reposição.

9.4.1.3 R-717 (Amônia)

Resfriadores que usam R-717 como refrigerante estão disponíveis há muitos anos e são amplamente utilizados em sistemas industriais (ver Capítulo 5, *Refrigeração Industrial*). Há várias instalações na Europa, no Oriente Médio, na China e nos EUA. Os resfriadores com R-717 estão disponíveis com compressores de parafusos com motor externo no intervalo de capacidade de 100-7000 kW. Resfriadores com compressores alternativos com motor externo estão disponíveis no intervalo de capacidade de 20-1600 kW.

Resfriadores com R-717 são fabricados em pequenas quantidades em comparação com resfriadores HFC de capacidade semelhante. Diferentes materiais de construção são utilizados porque o R-717 causa corrosão rápida do cobre, a superfície de troca de calor mais amplamente utilizada em resfriadores com HCFC e HFC. Trocadores de calor de placas e quadros de aço são comuns em sistemas com R-717. Compressores com motor externo são utilizados para evitar a exposição de enrolamentos de motor de cobre ao R-717. Compressores de parafusos semi-herméticos foram desenvolvidos com motores até 110 kW, utilizando enrolamentos de alumínio, mas não são comuns fora do Japão.

O mercado atual para resfriadores com R-717 é da ordem de mil unidades por ano em comparação com dezenas de milhares de resfriadores que utilizam HCFC-22 e HFCs. O R-717 é mais adequado para resfriadores arrefecidos a água por causa dos custos mais elevados de bobinas do condensador com R-717 arrefecidas a ar. Informações sobre aplicações de resfriadores com R-717 no ar condicionado de edifícios são fornecidas em /Pea08a e Pea08b/.

9.4.1.4 Hidrocarbonetos

Resfriadores que empregam hidrocarbonetos como fluido refrigerante já estão disponíveis há mais de 10 anos, embora geralmente apenas em pequenas capacidades (até 200 kW) por circuito de refrigeração. O HC-290 (propano) é usado em resfriadores em aplicações de ar condicionado e industriais. O HC-290 e outro hidrocarboneto, o HC-1270 (propileno), são usados em um número limitado de instalações de resfriadores pequenos (<600 kW) arrefecidos a ar na Dinamarca, na Noruega, no Reino Unido, na Alemanha e na Nova Zelândia. Alguns países do Artigo 5, como Indonésia, Malásia e Filipinas atualmente aplicam resfriadores com hidrocarbonetos para as necessidades de refrigeração de grandes espaços. O mercado atual de resfriadores com hidrocarbonetos é maior do que o de resfriadores com R-717 em uma base global, mas ainda muito pequeno quando comparado com o mercado de resfriadores com HFC e HCFC-22.

Normas e diretrizes para o uso de refrigerantes hidrocarbonetos em equipamentos de refrigeração e sistemas de ar condicionado estacionários são fornecidas em /ASH10a/ e /EN08/. EN 378 especifica tamanhos máximos de carga de refrigerante para sistemas localizados em espaços

ocupados de 1,5 kg e 2,5 kg, dependendo de se a ocupação é pública ou privada. Para todas as partes que contêm refrigerantes localizadas no exterior, o tamanho de carga máximo é de 25 kg em espaços públicos. Não há limite se estiverem localizadas em áreas apenas com acesso autorizado. A Norma Internacional IEC 60335-2-40 permite até cerca de 5 kg de HC dentro de uma residência, desde que esteja dentro de um recinto especial /EN08/. As autoridades locais podem impor diferentes limites de tamanho de carga ou exigir considerações especiais.

9.4.1.5 R-744 (Dióxido de carbono)

Resfriadores com R-744 foram introduzidos no mercado por fabricantes europeus. Ambas as versões de resfriador de gás arrefecidas a ar e a água estão disponíveis. Para fins de classificação, a água resfriada vai de +12°C a +7°C. A temperatura de descarga do arrefecedor de gás é de 30°C. Modelos com capacidades de arrefecimento de 40 a 500 kW são oferecidos.

9.4.2 Resfriadores centrífugos

Desde a década de 1960 até o início da década de 1990, os resfriadores centrífugos eram oferecidos com os refrigerantes CFC-11, HCFC-22, CFC-113, CFC-12, CFC-114, e R-500. Destes, o CFC-11 era de longe o mais comum, porque era o refrigerante mais eficiente para resfriadores centrífugos. Com a implementação do Protocolo de Montreal, a produção de resfriadores com CFCs ou com misturas de refrigerantes contendo CFC (como R-500) terminou, essencialmente, em 1993 nos países desenvolvidos e em 2005 a nível mundial. Resfriadores centrífugos que utilizam HCFC-22 foram raramente produzidos após a década de 1990.

Os principais refrigerantes utilizados em resfriadores centrífugos são hoje o HCFC-123 e o HFC-134a. Esses fluidos refrigerantes alternativos começaram a ser utilizados em resfriadores centrífugos no final de 1989 e continuaram a ser utilizados na produção de novos resfriadores. O HCFC-123 substituiu o CFC-11 e oferece uma opção eficiente com ODP baixo e PAG muito baixo. O HFC-134a é um refrigerante com PAG elevado, mas com apenas 13% do PAG ultra-alto do CFC-12, o qual substitui. O HFC-245fa, um agente de expansão de espuma na categoria de PAG alto, também pode ser usado como refrigerante em resfriadores centrífugos, mas seu uso é bastante limitado. A Tabela 9-2 mostra os intervalos de capacidades de refrigeração oferecidos para resfriadores centrífugos com os refrigerantes que substituíram os CFCs.

Tabela 9-2: Refrigerantes de resfriadores centrífugos

Refrigerante	Intervalo de capacidade (kW)
HCFC-123	700 – 17.000
HFC-134a	200 – 21.000
HFC-245fa	2.600-8.800

Os resfriadores centrífugos também encontram aplicação em submarinos navais e navios de superfície. Esses resfriadores originalmente empregavam CFC-114 como refrigerante em unidades com capacidade de 440 a 2.800 kW. Diversos resfriadores com CFC-114 foram convertidos para o uso de HFC-236fa como refrigerante de transição. (O HFC-236fa tem PAG muito alto e, por isso, não é utilizado em outras aplicações de resfriador.) Novos resfriadores navais usam principalmente HFC-134a.

9.5 Opções de refrigerante para novos equipamentos resfriadores

A escolha de refrigerantes alternativos para substituir os CFCs e HCFCs necessitou de um equilíbrio entre propriedades termofísicas, estabilidade química e térmica, as questões ambientais globais de destruição do ozônio estratosférico e aquecimento global devido à liberação de refrigerante e efeitos relacionados com a energia, questões de segurança locais, como toxicidade e inflamabilidade, desempenho e custo /Ca197/.

Por meio de melhores técnicas de manufatura, todos os fabricantes estão reduzindo vazamentos e

minimizando os efeitos diretos de emissões de refrigerante sobre o aquecimento global. A taxa média anual de vazamento de 0,5% com base em ciclo de vida (incluindo manufatura, instalação, testes, operação, manutenção, perdas catastróficas amortizadas e aposentadoria) pode ser atingida pelos melhores resfriadores centrífugos /Cal99/. A taxa média anual de vazamento de muitos resfriadores são maiores, especialmente se não tiverem boa manutenção. Os fabricantes estão modificando projetos de resfriadores para reduzir a quantidade de refrigerante necessária.

9.5.1 Opções para novos resfriadores de deslocamento positivo

9.5.1.1 R-407C

O R-407C teve um papel como refrigerante de transição durante a eliminação do HCFC-22. O desenvolvimento de novos resfriadores para uso desta mistura de HFC efetivamente terminou pelos motivos expostos na Seção 9.4.1.2.

9.5.1.2 Principais substitutos do HCFC-22: HFC-134a e R-410A

A transição do HCFC-22 para o HFC-134a em resfriadores com compressores de parafusos e para o R-410A em resfriadores com compressores *scroll* ocorreu até 2005 ou mais cedo nos países desenvolvidos. A transição está em estágio menos avançado nos países do Artigo 5. O refrigerante HCFC-22 é menos caro do que as alternativas, e despesas de desenvolvimento de novos resfriadores e novos compressores que usem esses fluidos refrigerantes alternativos podem ser adiadas nesses países, porque eles têm datas de eliminação posteriores para o HCFC-22. Por outro lado, a conversão para refrigerantes com PAG mais baixo em sistemas de maior eficiência reduziria os impactos das mudanças climáticas.

9.5.1.3 HFC-32

O refrigerante HFC-32 é utilizado como componente em misturas, tais como o R-410. Sugeriu-se que fosse utilizado como refrigerante em resfriadores de deslocamento positivo, sozinho ou em azeótropos com R-600 (n-butano), R-600a (isobutano) e outros componentes de baixo PAG, porque tem um PAG moderado, boa eficiência energética e alta capacidade no ciclo de compressão de vapor. As desvantagens incluem níveis de pressão de funcionamento mais elevados do que os do HCFC-22 e inflamabilidade. O HFC-32 é classificado como um refrigerante A2 de acordo com o Padrão 34 da ASHRAE. /ASH10b/. A nova classificação de "baixa inflamabilidade" foi adotada (ver Capítulo 2, *Refrigerantes*) e o HFC-32 pode ser reclassificado como A2L. Resfriadores que utilizam HFC-32 (não como componente de mistura) ainda não são comercializados.

9.5.1.4 Refrigerantes HFC adicionais: R-404A, R-507A e outras misturas de HFC

Os refrigerantes de alto PAG R-404A e R-507A foram considerados como possíveis substitutos do HCFC-22 em unidades de refrigeração comercial de baixa temperatura. No entanto, nenhum azeótropo não inflamável comercializado para resfriadores de ar condicionado é adequado às relações de pressão e temperatura do HCFC-22.

Outras misturas de HFC foram propostas por fabricantes de produtos químicos. A maioria delas tem variações de temperatura significativas (2 K ou mais) e não parece oferecer benefícios de desempenho em comparação com HFC-134a ou R-410A. Sua penetração de mercado em novos equipamentos é muito pequena. Barreiras à entrada de novas misturas que não oferecem benefícios significativos de desempenho ou custo incluem os desafios do desenvolvimento de fontes de fornecimento de longo prazo para resfriadores em todo o mundo.

Refrigerantes de baixo PAG

9.5.1.5 R-717

Para que o uso do refrigerante R-717 em resfriadores possa se expandir na faixa de capacidade servida por compressores de deslocamento positivo, especialmente fora da Europa, diversos impedimentos devem ser abordados:

Os custos do resfriador tipicamente são maiores do que para resfriadores com HCFC e HFC.

Preocupações de segurança com o R-717 em aplicações de refrigeração de conforto podem aumentar os custos de instalação. Em alguns países, os códigos de construção restringem fortemente as aplicações, mas podem ser revisados se um nível de segurança aceitável for demonstrado com novas abordagens.

O mercado para resfriadores com R-717 deverá crescer no futuro em regiões onde as preocupações sobre o controle de refrigerantes de alto PAG são fortes. No entanto, as questões de segurança percebidas em aplicações de refrigeração de conforto podem aumentar os custos de instalação e restringir o regime de instalação.

9.5.1.6 Hidrocarbonetos

O uso de HC-290 e HC-1270 para refrigeração de conforto e aplicações de bomba de calor é limitado principalmente por questões de inflamabilidade.

Existem refrigerantes hidrocarbonetos com propriedades semelhantes às do HCFC-22 e do HFC-134a que permitem o uso em novos equipamentos de *design* atual após os ajustes apropriados para garantir a compatibilidade com diferentes materiais, lubrificantes e aspectos de segurança. Os resfriadores que empregam refrigerantes hidrocarbonetos têm maior custo do que os resfriadores com HFC, porque são fabricados em pequenas quantidades, embora a modificação dos equipamentos originalmente projetados para HCFC-22 seja bastante simples.

Códigos de segurança impõem exigências mais rigorosas sobre o uso de hidrocarbonetos para grandes cargas de refrigerante em resfriadores, especialmente para instalações de resfriadores em locais fechados (por exemplo, resfriadores arrefecidos a água em salas de máquinas). Em regiões onde empresas, governo e público apoiam as soluções de hidrocarbonetos, essas preocupações de segurança têm sido amplamente superadas pela engenharia, pelo treinamento técnico e por mudanças nas normas. Nessas regiões, o uso de resfriadores com hidrocarbonetos provavelmente crescerá no futuro. No entanto, em países como os EUA, regulamentos, códigos de construção e ambientes legais continuam a representar dificuldades para o uso de hidrocarbonetos em resfriadores comerciais.

9.5.1.7 R-744

O R-744 em resfriadores arrefecidos a ar foi introduzido no mercado do norte da Europa. Em climas onde a principal necessidade de resfriamento é a uma temperatura ambiente média de 15°C ou menos, estes sistemas podem ser equivalentes em termos de eficiência e LCCP a outros sistemas que empregam HFCs, R-717 ou HCs. Resfriadores com R-744 provavelmente serão menos atraentes em temperaturas ambientes mais elevadas, devido à diminuição da eficiência com o aumento da temperatura ambiente.

Quando a recuperação de calor para gerar água quente a temperaturas de 60°C ou mais pode ser empregada em uma estratégia de energia total para uma construção, os resfriadores com R-744 oferecem a vantagem de poder usar o calor residual para elevar a temperatura da água com maior eficiência do que outros refrigerantes. A água resfriada pode ser usada para subresfriar o refrigerante antes da expansão. Para essa aplicação, resfriadores de recuperação de calor com R-744 fornecem bom nível de eficiência.

9.5.1.8 HFC-1234yf e outros hidrofluoroquímicos insaturados

Fabricantes de produtos químicos estão oferecendo hidrofluoroquímicos insaturados (ver Capítulo 2, *Refrigerantes*) para substituir o HFC-134a em ar condicionado móvel (ver Capítulo 10, *Ar condicionado de veículos*). Se adotados amplamente no setor móvel, uma maior exploração de possibilidades para o uso em condicionamento de ar estacionário (incluindo resfriadores) é esperada. Estudos iniciais baseados em propriedades termodinâmicas sugerem que o COP de resfriadores que usam o refrigerante HFC-1234yf não é tão boa quanto o do HFC-134a /Kon09 e Lec10/. HFCs insaturados para resfriadores continuam a ser desenvolvidos /Kon10a, Kon10b, Kon10c e Spa08/. Até o momento, não é possível saber se HFC-1234yf e outros novos refrigerantes similares ou misturas encontrarão aceitação significativa para uso em resfriadores.

9.5.2 Opções para novos resfriadores centrífugos

Os compressores centrífugos são a tecnologia mais eficiente em grandes unidades, ou seja, naquelas com capacidade superior a 1.700 kW. Resfriadores de água que usam esses compressores são projetados para refrigerantes específicos.

9.5.2.1 Refrigerantes usados comumente: HCFC-123 e HFC-134a

O HCFC-123 e o HFC-134a são as principais escolhas atuais e comprovadas para novos resfriadores de compressor centrífugo.

9.5.2.2 HFC-245fa

O HFC-245fa pode ser usado como um refrigerante de resfriador centrífugo e pelo menos um fabricante comercializa resfriadores que usam esse refrigerante /JAR08/. O HFC-245fa é mais comumente usado para a expansão de espuma de isolamento de eletrodomésticos. Ele entrou em produção comercial em 2003. O HFC-245fa tem pressões de operação mais elevadas do que o HCFC-123, mas menores que as do HFC-134a.

9.5.2.3 Questões de design com zeótropos, hidrocarbonetos e R-717 para resfriadores centrífugos

Refrigerantes zeotrópicos com variações de temperatura significativas não são adequados para utilização nos evaporadores inundados que são usados em todos os resfriadores centrífugos. A discussão do refrigerante R-407C na Seção 9.4.1.2 explica os problemas.

Os refrigerantes hidrocarbonetos têm uso limitado em resfriadores centrífugos em plantas petroquímicas onde diversos materiais muito perigosos são usados rotineiramente e o pessoal é altamente treinado em medidas de segurança e resposta a emergências (ver Capítulo 5, *Refrigeração Industrial*).

Os refrigerantes hidrocarbonetos não são utilizados em resfriadores centrífugos para o condicionamento de ar em função de restrições de código de segurança e de preocupações em relação a grandes cargas de refrigerantes inflamáveis.

O R-717 não é um refrigerante adequado para resfriadores centrífugos, porque requer um grande número de fases do compressor para produzir o aumento de pressão ("lift" ou "head") necessário para o ciclo do resfriador com R-717. Modelos alternativos com compressores axiais não são comercializados para sistemas de refrigeração.

9.5.2.4 R-718 (Água)

As baixas pressões, altas taxas de compressão e altas taxas de fluxo volumétrico necessárias em sistemas de compressão de vapor d'água requerem modelos de compressor incomuns no campo de resfriadores, embora várias empresas e projetos de pesquisa tenham tentado sua comercialização. As aplicações de água como refrigerante podem resfriar a água ou produzir pasta de gelo por evaporação direta de um tambor de água. Sistemas com R-718 têm um custo adicional em relação aos sistemas convencionais. Os custos mais elevados são inerentes e estão associados com o grande tamanho físico dos resfriadores de vapor de água e com a complexidade da tecnologia do compressor. Vários resfriadores e máquinas de gelo a vácuo comerciais em desenvolvimento foram comprovados em testes na Europa, em Israel e na África do Sul /Jah96, Oph08 e She01/.

9.5.3 Questões relacionadas ao HCFC-123, ao HFC-134a, ao R-410A e a outros refrigerantes HFC de resfriadores

De acordo com os termos do Protocolo de Montreal, o uso de HCFC-123 em novos equipamentos vai acabar na maioria dos países desenvolvidos até 2020 e em 2030 nos países do Artigo 5. Ele já foi descontinuado na Europa. Os resfriadores existentes podem utilizar quantidades instaladas, recuperadas e em estoque de HCFC-123 por tempo indeterminado (exceto na Europa).

Controles sobre os refrigerantes HFC de alto PAG estão começando a ser discutidos por alguns países e por organismos internacionais. Para aplicações de ar condicionado estacionário, como resfriadores, o limite regulamentar que define o PAG alto ainda não foi estabelecido. Os PAGs do HFC-134a, do HFC-245fa e do R-410A fazem desses refrigerantes possíveis candidatos para a regulamentação (ver Capítulo 2, *Refrigerantes*, para obter os valores de PAG mais recentes). Outros refrigerantes HFC discutidos nesta seção 9.5 também têm PAGs que os tornam potenciais candidatos.

Ainda não há um novo refrigerante comercializado para substituir o HCFC-123 ou o R-410A. O HFC-1234yf e outros hidrofluoroquímicos insaturados, descritos na Seção 9.5.1.8. acima, estão em fase inicial de avaliação para uso no em ar condicionado estacionário. Neste momento, não é possível saber se esses produtos químicos encontrarão uso significativo como refrigerante em resfriadores de deslocamento positivo ou como substitutos em resfriadores centrífugos.

Uma ampla discussão da progressão dos refrigerantes dos usos iniciais até o presente, abordando as direções futuras e refrigerantes candidatos, incluindo "refrigerantes naturais", pode ser encontrada em /Cal08/.

9.5.4 Alternativas a sistemas de compressão de vapor (resfriadores de absorção)

Resfriadores de absorção movidos a água quente, vapor ou queima direta são uma alternativa viável ao ciclo de compressão de vapor para algumas instalações. Os resfriadores de absorção são descritos nas Seções 9.2.2 e 9.3.3.

9.6 Opções para equipamentos resfriadores existentes

Quando os refrigerantes CFC e HCFC são eliminados (e em vários países que eliminaram os HFCs), as funções desempenhadas pelos resfriadores que utilizam esses refrigerantes devem ser sustentadas de uma destas formas:

Manter/Conter: operação continuada com inventários em estoque e/ou recuperados em conjunto com procedimentos de contenção e equipamentos para reduzir as emissões.

Retrofit: modificação para permitir a operação com fluidos refrigerantes alternativos (HFCs), dependendo dos regulamentos aplicáveis.

Substituir: aposentadoria/substituição antecipada por novos resfriadores (de preferência com maior eficiência, que reduzem o impacto sobre o clima relacionado à energia), utilizando refrigerantes permitidos ou alternativas *not-in-kind*.

As opções de *retrofit* dependem do refrigerante específico para o qual o resfriador foi originalmente projetado. Quando qualquer *retrofit* é realizado, recomenda-se que a sala de máquinas seja atualizada de acordo com os requisitos da última edição das normas de segurança /ASH10a, EN08/ ou com propostas de normas internacionais como a ISO/DIS 5149. Também é recomendado que os fabricantes do equipamento sejam consultados em qualquer programa de *retrofit*.

O número anual de *retrofits* de resfriadores deverá diminuir significativamente nos países desenvolvidos, onde a maioria das conversões economicamente viáveis do uso de CFC para outros refrigerantes foram concluídas.

A média dos resfriadores centrífugos atuais usam 20% menos eletricidade do que a média dos resfriadores produzidos há apenas duas décadas; o melhor resfriador atual usa menos de 65% da eletricidade do resfriador médio de 1976 /ICF03 e TEA04/. Proprietários de edifícios normalmente podem recuperar o custo de investimento da substituição de um resfriador CFC antigo, em três a cinco anos (ou menos) em muitas regiões que necessitam de refrigeração por mais de três meses ao ano.

9.6.1 Resfriadores de deslocamento positivo

Um compressor de deslocamento positivo inerentemente pode ser aplicado para lidar com vários refrigerantes e taxas de pressão diferentes em um resfriador, desde que seu motor tenha energia suficiente, que o compressor, tubos, trocadores de calor e outros componentes possam atender aos códigos e regulamentos de pressão com os refrigerantes e que os materiais do sistema e lubrificantes sejam compatíveis com os refrigerantes. Apesar dessa flexibilidade, ainda há uma série de problemas para o *retrofit* de resfriadores de deslocamento positivo para operar com novos refrigerantes.

9.6.1.1 HFC-134a como substituto para o CFC-12

Os níveis de pressão de operação e as capacidades de arrefecimento do HFC-134a e do CFC-12 são semelhantes. Assim, o HFC-134a pode ser usado como refrigerante de *retrofit* para resfriadores com CFC-12. O lubrificante de óleo mineral utilizado com CFC-12 deve ser cuidadosamente eliminado do sistema e substituído por um óleo sintético adequado compatível com o HFC-134a (o óleo mineral não é miscível com o HFC e, por isso, não pode ser utilizado em sistemas com HFC). Se o óleo mineral e cloretos contidos no óleo não são adequadamente eliminados do sistema, depósitos viscosos de contaminantes podem se formar no sistema e entupir pequenas passagens e controles. Outros materiais, tais como juntas, vedações elastoméricas e secadores de filtro deve ser verificados quanto a sua compatibilidade com o HFC-134a e substituídos, caso necessário. O controle de umidade em sistemas com HFC-134a com óleo sintético requer maior atenção do que com CFC-12. O fabricante do resfriador deve ser consultado sobre os requisitos para um *retrofit* bem sucedido.

Após a conversão, a capacidade de arrefecimento e a eficiência energética do sistema serão próximas às do sistema quando carregado com CFC-12.

9.6.1.2 R-407C, HFC-134a, misturas patenteadas e hidrocarbonetos com candidatos a substitutos para o HCFC-22

O refrigerante HCFC-22 foi empregado na maioria dos novos resfriadores de deslocamento positivo até a segunda metade da década de 1990. Com base em uma pesquisa muito extensa de alternativas, ficou claro que não há substituto direto para o HCFC-22 em resfriadores com evaporadores inundados.

Os refrigerantes de *retrofit* inicialmente utilizados para substituir o HCFC-22 foram R-407C e HFC-134a. A conversão de um resfriador com HCFC-22 para o HFC-134a reduz a capacidade de arrefecimento em cerca de um terço, a menos que o compressor seja substituído por outro com deslocamento cerca de 50% maior. Em uma conversão de HCFC-22 para R-407C ou HFC-134a, o lubrificante de óleo mineral no sistema deve ser removido e substituído por um lubrificante sintético compatível com HFCs. Recomenda-se que o fabricante do resfriador seja ativamente envolvido em qualquer programa de *retrofit*.

Refrigerantes alternativos para *retrofit* de equipamentos que usam HCFC-22 com evaporadores DX incluem misturas zeotrópicas e azeotrópicas patenteadas de HFCs já desenvolvidas e em desenvolvimento. Os comentários da Seção 9.4.1.2 sobre o R-407C explicam problemas com misturas zeotrópicas que fazem com que seu uso como alternativa em muitos resfriadores com HCFC-22 seja acompanhado por perdas em capacidade e eficiência energética. Algumas misturas contêm uma pequena quantidade de refrigerante hidrocarboneto para que as misturas possam ser utilizadas com óleo mineral. Algumas misturas são mais adequadas para uso em ar condicionado, enquanto outras podem ser mais apropriadas para aplicações de bombas de calor ou refrigeração. Quando se considera uma mistura para a substituição do HCFC-22 em um sistema, deve-se atentar para os efeitos da mistura sobre a capacidade de refrigeração e a eficiência energética.

Novas misturas de refrigerante inseridas no mercado podem ter penetração limitada em função de questões de disponibilidade de longo prazo para fins de manutenção e da relutância dos fabricantes de resfriadores em se comprometer com o uso em seus equipamentos de refrigerantes (e lubrificantes) que não foram testados completamente. Esses testes constituem um processo caro.

O *retrofit* para uso de refrigerantes hidrocarbonetos em resfriadores com CFC ou HCFC não é permitido em muitos países. No entanto, em algumas jurisdições (especialmente no sudeste da Ásia) diversas conversões foram realizadas. Pode haver custos para incorporar recursos de segurança no equipamento e para modificar a sala de máquinas a fim de cumprir com normas de segurança. A conversão só deve ser planejada e executada por engenheiros e técnicos qualificados.

9.6.1.3 R-404A ou R-507A como substitutos para o HCFC-22

Misturas dos refrigerantes R-404a e R-507A foram desenvolvidas para aplicações de refrigeração como substitutos para o R-502, uma mistura que contém um CFC. As novas misturas foram bem sucedidas como substitutas do R-502 para aplicações de refrigeração. No entanto, não são atraentes como substitutas para o HCFC-22 em resfriadores. Sua eficiência energética para as condições de funcionamento de resfriadores é menor que a do HCFC-22 e a de outras alternativas discutidas acima.

9.6.2 Resfriadores centrífugos

Compressores centrífugos, por natureza, devem ser concebidos especificamente para um refrigerante e para determinado conjunto de condições de funcionamento para o ciclo de refrigerante em que são utilizados. A substituição direta do refrigerante em resfriadores centrífugos pode ser feita apenas nos casos em que as propriedades do refrigerante substituto são quase iguais às do refrigerante para o qual o equipamento foi concebido ou quando a velocidade e/ou a geometria do impulsor podem ser facilmente alteradas. No passado, isso foi conseguido por meio de mudanças de velocidade em resfriadores com motor externo e com interruptores de velocidade variável em resfriadores com compressores abertos e herméticos. A margem de *surge* do compressor deve ser verificada com uso das propriedades do refrigerante substituto.

Em princípio, uma mistura de refrigerante pode ser produzida para realizar a substituição, mas misturas com significativa variação de temperatura são inaceitáveis nos evaporadores inundados de resfriadores centrífugos pelas razões anteriormente discutidas. Na prática, as substituições de refrigerante são incomuns. O R-423A vem sendo utilizado com sucesso como substituto para o CFC-12 em resfriadores centrífugos sem a necessidade de alterações mecânicas no compressor em situações em que a temperatura de condensação não é extrema.

A completa substituição de um compressor por um *design* desenvolvido para um refrigerante alternativo pode ser feita, mas isso é incomum em função do custo elevado de conversão. A principal alternativa é substituir o resfriador.

9.6.3 Substitutos *not-in-kind* para resfriadores – Absorção

Um fator que limita as trocas de resfriadores de compressão de vapor com CFC ou HCFC para resfriadores de absorção é a impossibilidade de *retrofit* em muitas construções existentes, porque as vias de acesso não são suficientemente grandes para permitir que o resfriador de absorção seja colocado na sala de máquinas existente. É provável que a capacidade da torre de arrefecimento tenha de ser aumentada de forma significativa. Um sistema adequado de tubagem de gás deve ser preparado se um sistema de absorção a gás for utilizado.

9.7 Bancos e emissões relacionados a resfriadores

Um anexo intitulado "Inventários globais do conjunto mundial de equipamentos de refrigeração e ar condicionado a fim de determinar as emissões de refrigerante: atualização de 1990 a 2006, Excertos do RELATÓRIO FINAL" é fornecido com este relatório do RTOC. O anexo foi preparado por Denis Clodic, Stephanie Barrault e Sabine Saba da ARMINES em Paris, França, em abril de 2010. A Seção 8 do anexo apresenta informações sobre resfriadores. A Seção 8 do anexo não foi revisada ou editada pelos autores e colaboradores deste Capítulo 9 do Relatório do RTOC.

9.8 Referências

- /ARI03/ Standard 550/590-03, "Water Chiller Packages Using the Vapor Compression Cycle", Air-Conditioning and Refrigeration Institute (ARI, now AHRI), Arlington VA, USA, 2003
- /ASH10a/ ANSI/ASHRAE Standard 15-2010, "Safety Standard for Refrigeration Systems", American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 2010
- /ASH10b/ ANSI/ASHRAE Standard 34-2010, "Designation and Safety Classification of Refrigerants", American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 2010
- /Cal93/ Calm, J.M. "Global Warming Impacts of Chillers", Heating/Piping/Air Conditioning Engineering, 65-2:28-39, February 1993
- /Cal97/ Calm, J.M., and Didion, D.A., "Trade-Offs in Refrigerant Selections: Past, Present and Future", Refrigerants for the 21st Century, NIST, Gaithersburg, MD USA, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 6-19, October 1997; International Journal of Refrigeration, 21(4):308-321, June 1998
- /Cal99/ Calm, J.M., Wuebbles, D.J., and Jain, A.K., "Impacts on Global Ozone and Climate from Use and Emission of 2,2-Dichloro-1,1,1-trifluoroethane (HCFC-123)", Journal of Climate Change, 42(2): 439-474, June 1999
- /Cal08/ Calm, J.M., "The Next Generation of Refrigerants – Historical Review, Considerations, and Outlook", International Journal of Refrigeration, 31(7): 1123-1133, 2008
- /EN08/ EN378: "Refrigerating Systems and Heat Pumps – Safety and Environmental Requirements" Parts 1-4, Comite Europeen de Normalisation, Brussels, 2008
- /ICF03/ ICF Consulting, "International Chiller Sector Energy Efficiency and CFC Phaseout", report prepared for the World Bank, (Table 4), Washington D.C., USA, May 2003
- /IPCC05/ Intergovernmental Panel on Climate Change, Technology and Economic Assessment Panel, "Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System – Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons", Cambridge University Press, New York, NY, USA, 2005
- /Jah96/ Jahn, E., Lausen, D., and Paul, J., "Cooling of Mines with Vacuum Ice", Proceedings of the FRIGA'96 Conference, Johannesburg, South Africa, 1996.03
- /JAR08/ Japan Air Conditioning, Heating & Refrigeration News (JARN), 25 November 2008, Serial No. 478-S
- /Lec10/ Leck, T.J., Kontomaris, K., and Rinne, F., "Development and Evaluation of High Performance, Low GWP Refrigerants for AC and Refrigeration", Conference on Sustainable Refrigeration and Heat Pump Technology, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, June 13-16, 2010
- /Kon09/ Kontomaris, K. and Leck, T.J., "Low GWP Refrigerants for Centrifugal Chillers", American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 2009 Annual Conference, Louisville, KY, USA, June 24, 2009
- /Kon10a/ Kontomaris, K. and Leck, T.J., "Low GWP Refrigerants for Air Conditioning of Large Buildings", 10th REHVA World Congress, Sustainable Energy Use in Buildings, Antalya, Turkey, May 9-12, 2010
- /Kon10b/ Kontomaris, K., Leck, T.J., and Hughes, J., "A Non-Flammable, Reduced GWP, HFC-134a Replacement in Centrifugal Chillers: DR-11", 13th International Refrigeration and Air-Conditioning Conference, Purdue University, Lafayette, IN, USA, July 12-15, 2010
- /Kon10c/ Kontomaris, K., "A Low GWP Replacement for HCFC-123 in Centrifugal Chillers: DR-2", American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) and United Nations Environmental Programme (UNEP) Conference, Road to Climate Friendly Chillers – Moving Beyond CFCs and HCFCs, Cairo, Egypt, September 30-October 1, 2010
- /Oph08/ Ophir, A., "Mechanical Heat Pumps Using Water as Refrigerant for Ice Production and Air Conditioning", presentation, International District Energy Association (IDEA), 99th Annual Convention in Orlando, FL, Westborough, MA, USA, 2008

- /Pea08a/ Pearson, A., "Ammonia's Future", ASHRAE Journal, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 50(2): 30-36, February 2008
- /Pea08b/ Pearson, A., "Water Chillers with Ammonia for Building Services", Natural Refrigerants – Sustainable Ozone and Climate Friendly Alternatives to HCFCs, published by German Technical Cooperation Programme Proklima, German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, Bonn, Germany July 2008
- /San97/ Sand, J.R., Fisher, S.K., and Baxter, V.D., "Energy and Global Warming Impacts of HFC Refrigerants and Emerging Technologies", Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS) and U.S. Department of Energy (DOE), Washington, DC, USA, 1997
- /She01/ Sheer, T.J., Butterworth, M.D., and Ramsden, R., "Ice as a Coolant for Deep Mines", Chapter 52, Proceedings of the 7th International Mine Ventilation Congress, Research and Development Center for Electrical Engineering and Automation in Mining, Krakow, Poland, June 2001
- /Spa08/ Spatz, M.W., "Latest Developments in Refrigerants for A/C&R Applications", The International Symposium on New Refrigerants and Environmental Technology 2008, Kobe, Japan, November 20-21, 2008
- /TEA04/ UNEP Technology and Economic Assessment Panel, Chiller Task Force Report, United Nations Environmental Programme (UNEP), Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, May 2004

Capítulo 10

Ar condicionado de vehículos

Autor Principal do Capítulo

Jürgen Köhler

Coautores

William R. Hill

Colaboradores

Julius Banks

Radim ýermák

Michael Kauffeld

Lambert Kuijpers

Roberto de A. Peixoto

10 Ar condicionado de veículos

10.1 Introdução

Veículos (carros, caminhões e ônibus) construídos antes de meados da década de 1990 usavam CFC-12 como fluido refrigerante. Desde então, em resposta ao Protocolo de Montreal, novos veículos com ar condicionado passaram a ser equipados com sistemas que utilizam HFC-134a. (Abreviatura: A/C. Neste relatório, é usada a abreviatura MAC para Ar Condicionado Móvel). Este capítulo também trata do modo de bomba de calor do ciclo de condicionamento de ar, por exemplo de sistemas utilizados para o aquecimento de BEVs – (*Battery-driven electric vehicles*, Veículos elétricos a bateria). Até o ano 2000, a transição do CFC-12 para o HFC-134a como fluido refrigerante OEM para sistemas de ar condicionado instalados em fábricas foi concluída em todos os países desenvolvidos. Uma pesquisa nos EUA realizada pela *Mobile Air-Conditioning Society Worldwide* [MACSW] para o projeto IMAC indica que, em 2005, aproximadamente 19% dos equipamentos dos EUA ainda continham refrigerante CFC-12. O levantamento inclui veículos que podem ter sido equipados com CFC-12 quando vendidos, mas que mais tarde foram adaptados para o uso de HFC-134a. Considerando as taxas de sucata e o *retrofit* contínuo, esse percentual provavelmente caiu para menos de 10% em 2010.

Assim, espera-se que a demanda por CFC-12 como refrigerante de manutenção seja virtualmente eliminada nos próximos anos. Desde meados da década de 1990, o desenvolvimento de alternativas para o HFC-134a vem ocorrendo devido ao elevado potencial de aquecimento global [PAG] do HFC-134a.

10.1.1 Ações regulatórias que afetam o ar condicionado de veículos e refrigerantes

Regulamentos da UE, que controlam as emissões diretas de sistemas de AC móvel se dividem em dois grupos: controle de vazamentos e eliminação de gases de efeito estufa fluorados com alto PAG. A Diretiva 2006/40/CE trata das emissões dos sistemas de ar condicionado em veículos automotores e da proibição do uso de refrigerantes com PAG superior a 150 em veículos de tipo novo a partir de 1 de janeiro de 2011 e em todos os veículos novos a partir de 2017. O Regulamento nº 706/2007 da Comissão Europeia (CE) inclui um teste harmonizado para medir vazamentos de sistemas de ar condicionado móvel. A Diretiva 2007/37/EC da Comissão altera os Anexos I e III da Diretiva 70/156/ do Conselho, esclarecendo alguns termos. Além disso, este mesmo regulamento limita as emissões de refrigerante de ar condicionado móvel, utilizando refrigerantes com PAG > 150, a 40 g/ano para sistemas de evaporador simples e 60 g/ano para sistemas de evaporador duplo, começando com veículos de tipo novo em junho de 2008 e para todos os veículos em junho de 2009.

Os regulamentos europeus EU6 foram recentemente aprovados para limitar o número de gramas de gases de efeito estufa (GEE) (anteriormente, CO₂) que podem ser emitidos por quilômetro. O limite inicial de 130 gCO₂/km será reduzido para 95gCO₂/km em 2012. A atual diretiva 80/1268/CE é mesclada nas EURO 5&6. Esse regulamento também permite a um pequeno crédito para sistemas de ar condicionado com operação eficiente. Em 2011, a UE irá publicar uma nova Diretiva a respeito da medição de emissões de CO₂ baseadas em MAC.

Na Austrália, um imposto de cerca de A\$ 30/kg é proposto para o HFC-134a a partir do ano 2011.

Nos EUA, o estado de Minnesota aprovou um regulamento que obriga todos os fabricantes a informar o vazamento dos sistemas que vendem nos EUA, calculado conforme descrito na norma SAE J2727. Os dados da indústria para 2009 sobre sistemas MAC de evaporador único listaram uma perda média por emissões de 14,1 g/ano. Esses dados são informados aos consumidores por meio de um site do estado de Minnesota. Os dados devem ser atualizados para o modelo de cada ano. [<http://www.pca.state.mn.us/climatechange/mobileair.html#leakdata>]

A partir de 1 de janeiro de 2009, todos os veículos vendidos na Califórnia devem ter um selo

SMOG indicando o nível de poluição atribuído a cada veículo vendido na Califórnia. Esse regulamento [AB1229] também fornece um nível de créditos para sistemas de ar condicionado móvel eficientes e com baixos níveis de vazamento.

O Estado da Califórnia também tem um regulamento [AB1493], que entrou em vigor no ano de modelo 2010, para restringir as emissões de CO₂ de veículos. Este projeto de lei oferece créditos para emissões diretas e indiretas de equivalentes de CO₂ de AC. Do crédito permitido, 70% está relacionado a emissões indiretas e 30% está relacionado a emissões diretas. Créditos iniciais de AC estão disponíveis para os anos de modelo 2009-2011.

Em 30 de outubro de 2009, a EPA publicou uma regra final no Federal Register (www.regulations.gov) sob o ID Docket N°. EPA-HQ-OAR-2008-0508-2278 sobre o relatório das emissões de gases de efeito estufa. Esta se tornou efetiva em 29 de dezembro de 2009, com o primeiro relatório em março de 2010. Como isso está relacionado com as fontes de emissões de HFC de veículos, o relatório foi adiado até 2011 e SAE J2727 é o mecanismo de relatório proposto essas emissões.

[<http://www.epa.gov/climatechange/emissions/ghgrulemaking.html>]

Em 15 de setembro de 2009, a EPA dos EUA e a Administração Nacional de Segurança no Tráfego em Rodovias (*National Highway Transportation Safety Administration*, NHTSA) propôs um Programa Nacional histórico que reduziria drasticamente as emissões de gases de efeito estufa e melhoraria a economia de combustível para carros e caminhões novos vendidos nos Estados Unidos.

[<http://epa.gov/otaq/climate/regulations.htm>]

A combinação das normas da EPA e da NHTSA se aplica a veículos de passageiros, caminhões leves e veículos de passageiros de carga média, abrangendo os anos de modelo de 2012 a 2016. A regra exige reduções líquidas nas emissões de CO₂ da frota no período de 2012-2016. Em relação ao impacto sobre o ar condicionado móvel, um sistema de crédito para emissões indiretas de CO₂ foi estabelecido.

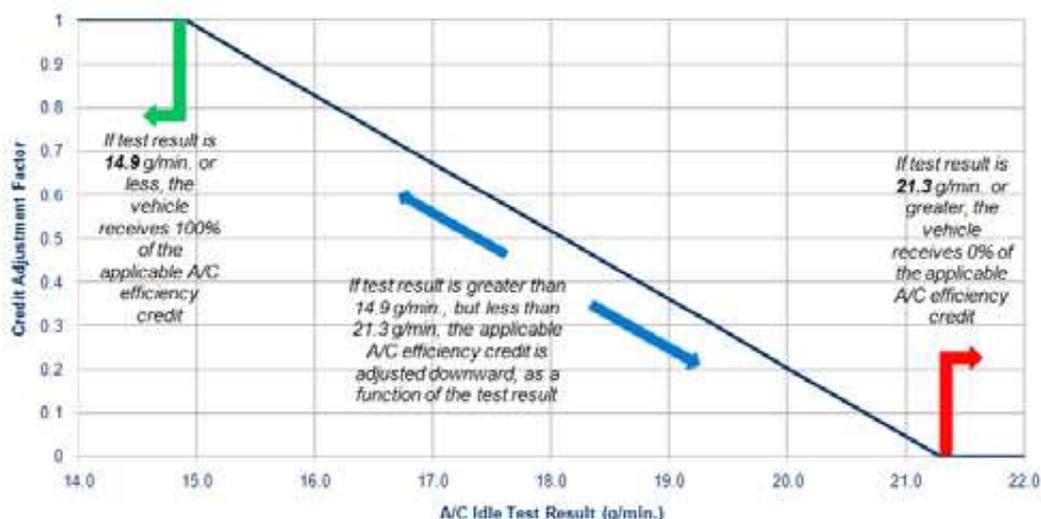
Esse sistema de crédito é baseado em um “menu” de tecnologias, como mostra a tabela abaixo. A regra fornece crédito para a redução de vazamentos de HFC-134a e para o uso de refrigerantes com PAG baixo. Os primeiros créditos de AC estarão disponíveis para os anos-modelo de 2009 a 2011.

Tabela 10-1 Tecnologias de AC que melhoram a eficiência e créditos

Descrição da tecnologia	Redução estimada nas emissões de CO ₂ de AC	Crédito de eficiência de AC (g/mi O ₂)
Reaquecimento reduzido, com compressor de deslocamento variável controlado externamente	30%	1,7
Reaquecimento reduzido, com compressor de deslocamento fixo ou compressor pneumático de deslocamento variável controlado externamente	20%	1,1
Padrão para ar recirculado com controle de loop fechado do fornecimento de ar (feedback do sensor para controlar a qualidade do ar interior) sempre que a temperatura ambiente for igual ou superior a 75 °F (embora desvios dessa temperatura sejam permitidos se acompanhados por uma análise de engenharia)	30%	1,7
Padrão para ar recirculado com controle de loop aberto do fornecimento de ar (sem feedback do sensor) sempre que a temperatura ambiente for igual ou superior a 75 °F (temperaturas mais baixas são permitidas)	20%	1,1

Controles de ventilador (blower motor) que limitam o desperdício de energia elétrica (por exemplo, controlador de energia modulado de amplitude de pulso)	15%	0,9
Trocador de calor interno	20%	1,1
Condensadores e/ou evaporadores aperfeiçoados (com análise de sistema sobre o(s) componente(s) que indicam uma melhoria de COP maior que 10%, em comparação com os designs padrão da indústria anteriores)	20%	1,1
Separador de óleo (com análise de engenharia que demonstre a eficiência em relação ao design de linha de base)	10%	0,6

Um novo ciclo de testes de marcha lenta foi adicionado a partir de 2014 para qualificar os créditos indiretos do sistema MAC. Esse teste de marcha lenta irá quantificar a quantidade de emissões indiretas de CO₂ relacionadas ao sistema MAC. O crédito indireto determinado a partir da tabela acima, será ajustado com base nos resultados das emissões de CO₂ relacionadas a sistemas MAC no teste de marcha lenta em uma escala móvel, conforme descrito no gráfico abaixo.



Este gráfico e a tabela acima foram apresentados pela EPA dos EUA no Simpósio sobre Refrigerantes Alternativos e Eficiência de Sistemas da SAE, em 2010.

Haverá também um crédito de emissões diretas, baseado na medição de vazamentos, determinada usando a norma SAE J2727. Esse crédito representará cerca de 50% do crédito total para os sistemas MAC.

Em julho de 2010, um workshop foi realizado como parte do Simpósio sobre Refrigerantes Alternativos e Eficiência de Sistemas da SAE. Nesse workshop, os reguladores, fornecedores e OEMs de veículos discutiram ideias de como as emissões indiretas de MAC poderiam ser medidas. O regulamento planejado deverá ser introduzido nos EUA no ano-modelo de 2017. A partir das discussões no workshop, considera-se provável que essa cooperação continuada conduza a uma abordagem global unificada sobre o tema.

10.2 Progresso tecnológico

Para os fins deste relatório, sistemas de ar condicionado móveis são aqueles utilizados em automóveis de passageiros, caminhões leves, ônibus e veículos ferroviários. Automóveis de passageiros e caminhões leves têm quantidades de carga de refrigerante de 0,4 a 1,2 kg. Ônibus e

veículos ferroviários podem ter quantidades de carga de refrigerante de 2 kg a 15 kg, às vezes mais. Este relatório trata dos novos desenvolvimentos nesse campo desde o relatório de 2005 do IPCC/TEAP sobre o Ozônio e o Clima e o relatório de 2006 do RTOC.

Para obter mais detalhes sobre o *design* do sistema e a história do desenvolvimento do sistema de refrigeração para esses veículos antes de 2005, consulte os referidos relatórios.

Impulsionados pela legislação (descrita na seção 10.1.1) e pela concorrência com sistemas que utilizam fluidos refrigerantes alternativos (descritos na seção 10.4), os sistemas de ar condicionado automotivo com HFC-134a se tornaram cada vez mais seguros em relação a vazamentos e eficientes em uso de energia. Isto resultou na introdução de novos conceitos de sistema, incluindo o uso de trocadores de calor internos, separadores de óleo e ciclos de ejetores. Novos conceitos de vedação e melhores materiais de mangueiras também estão sendo desenvolvidos para reduzir as emissões diretas de refrigerante. Pesquisas avançadas estão sendo realizadas sobre expansores de compressor e há cada vez mais aplicações de MAC para arrefecimento da bateria do veículo.

A rápida evolução dos veículos elétricos híbridos e dos veículos elétricos com compressores acionados eletricamente introduz novos desafios para sistemas de ar condicionado de veículos com HFC-134a. Para esses conceitos de mobilidade futuros, um refrigerante deve ser compatível com o motor elétrico do compressor e com o óleo usado nesses sistemas. Especialmente para veículos elétricos a bateria, os sistemas de ar condicionado de veículos para refrigeração, bem como os sistemas de bombas de calor para aquecimento, devem ter alta eficiência energética, pois a energia consumida por MAC pode afetar significativamente o intervalo de condução do veículo. Não só o sistema com HFC-134a, mas também qualquer outro sistema que utilize um novo refrigerante alternativo (descritos na seção 10.4), enfrenta esses novos desafios.

10.3 Sistemas de ar condicionado móvel existentes

10.3.1 HFC-134a

Como já foi descrito na Seção 10.1.1, os sistemas com HFC-134a tornaram-se cada vez mais seguros em relação a vazamentos. Em alguns casos, as tecnologias de vedação de juntas desenvolvidas para o R-744 foram adaptadas para uso em sistemas com HFC-134a. O material das mangueiras e o *design* de engates para mangueiras também foram melhorados. Além disso, sistemas com HFC-134a mostram melhoria da eficiência energética e consumo de combustível (conforme mencionado na seção 10.2) para atender a novas exigências regulatórias nos EUA e em função de uma maior conscientização sobre o consumo de combustível de MAC na UE. Para obter mais detalhes, consulte também a seção 10.4.1.1.

10.3.2 Retrofit de sistemas com CFC-12

Os sistemas MAC com CFC-12 continuam a ser adaptados para o uso de HFC-134a, como mencionado acima. Além disso, há 14 outras misturas de refrigerantes aprovadas pela EPA dos EUA de acordo com o regulamento SNAP para *retrofit* de sistemas com CFC-12. O *retrofit* de sistemas com HFC-134a e CFC-12 para uso de hidrocarbonetos ainda está em andamento em várias regiões, especialmente na Austrália e, em certa medida, na América do Norte, embora OEMs de veículos e alguns órgãos reguladores não aprovem o processo em função de mitigação de segurança inadequada. Nos EUA, a venda de CFC 12 é restrita a técnicos certificados. No entanto, o HFC-134a está disponível ao público em geral.

O *retrofit* de veículos com CFC-12 diminuiu depois de 1997 devido à disponibilidade e ao preço do CFC-12. O custo do *retrofit* em 1997 foi de US\$ 89,51 e aumentou para US\$ 176,05 em 2003. Alguns sistemas MAC de veículos também tiveram problemas de controle quando adaptados para o uso de HFC-134a, causando perda no desempenho do sistema de arrefecimento.

10.4 Opções para sistemas de ar condicionado móvel futuros

Este relatório concentra-se em tecnologia do ciclo de refrigeração por compressão de vapor para ar condicionado de veículos. O status de desenvolvimento de outras tecnologias de refrigeração, como sistemas de sorção ou termelétricos, ainda está longe de produção em série e atualmente apresenta competitividade de preços muito baixa e mau desempenho de refrigeração e eficiência do sistema.

10.4.1 Ar condicionado de automóveis de passageiros e caminhões leves

Como visto na seção 10.1, há uma grande quantidade de atividade reguladora relacionada a sistemas MAC de automóveis de passageiros. O foco mais recente é sobre o impacto indireto das emissões de veículos MAC, que se traduz, por exemplo, em um artigo de duas OEMs de veículos europeias na reunião ARSES da SAE, em julho de 2010. Uma versão atualizada desse artigo foi apresentada no workshop da Comissão Europeia (Bruxelas, 07 de outubro de 2010). Isso pode aumentar a importância da eficiência do sistema conforme escolhas de refrigerantes alternativos com baixo PAG sejam feitas para os sistemas MAC. Esta seção aborda os vários refrigerantes considerados para uso em carros de passeio e caminhões leves que utilizam sistemas de refrigeração similares aos de automóveis de passageiros. Todas as escolhas apresentadas a seguir têm impacto de aquecimento global semelhante, usando os vários métodos de TEWI, LCCP ou LCA descritos no capítulo 2 deste relatório. A comparação das escolhas é muitas vezes mais afetada pelo método e pelos pressupostos usados que pelo desempenho real.

10.4.1.1 Sistemas aperfeiçoados com HFC-134a

Como a lista de regulamentos que limitam o uso de HFC-134a é cada vez maior, esta substância pode não ser uma opção para sistemas de ar condicionado no futuro. Sistemas com HFC-134a com taxas de vazamentos e eficiência energética melhoradas ainda podem ser uma opção intermediária para alguns países em desenvolvimento.

No ano de 2006, cerca de 20% do total das emissões globais de refrigerante (CFC, HCFC e HFC) são de MACs de automóveis de passageiros, incluindo emissões na produção, na utilização, na manutenção e em fim de vida. Se levarmos em conta apenas as emissões de refrigerante HFC, as emissões de sistemas MAC contribuíram para as emissões totais de refrigerante HFC com uma cota de 60% em 2006 (ver anexo *Bancos e emissões*).

Pesquisas significativas foram realizadas com relação às taxas de vazamentos regulares de sistemas de ar condicionado móvel com HFC-134a ao longo dos últimos cinco anos. A JAMA e a ACEA realizaram testes de frota, nos quais a taxa de vazamento média para esses veículos foi de 9,7 a 11,1 g/ano. A ACEA também patrocinou exames laboratoriais, que resultaram no desenvolvimento do procedimento de teste especificado atualmente para atender às exigências da regulamentação sobre vazamentos da UE. Trabalhos adicionais foram realizados pelo IMAC CRP [Programa de Pesquisa Cooperativa para a Melhoria de Ar Condicionado Móvel] da SAE nos EUA. O vazamento médio nos quatro sistemas avaliados pelo IMAC foi de 12,9 g/ano. O projeto também avaliou alternativas tecnológicas aprimoradas e demonstrou que uma melhoria de 50% na taxa de vazamentos é possível, com base em testes realizados em três sistemas com evaporadores individuais e um sistema com evaporador duplo. O resultado médio é semelhante ao dos estudos da ACEA/JAMA. Outras pesquisas foram realizadas pelo *California Air Resource Board* (Departamento de Recursos da Qualidade do Ar da Califórnia/CARB) para analisar cinco diferentes sistemas típicos de uso em alto volume na Califórnia. Os resultados de laboratório indicam uma previsão de vazamento médio em campo de 8,9 g/ano. De todos esses trabalhos, pode-se concluir que a maior parte da carga atmosférica relatada para o HFC-134a não se deve a vazamentos regulares, mas a emissões provenientes de vazamentos irregulares, manutenção inadequada, recuperação de fim de vida inadequada e à manutenção de sistemas com CFC-12 usando HFC-134^a. Grande parte desses vazamentos podem ser controlados por melhorias na manutenção e pela aplicação de processos de recuperação no fim de vida de veículos. Um artigo recente de Stella Papasavva *et al.* faz um bom trabalho de análise de alguns cenários de baixo e alto vazamento, resumindo muitos dos outros estudos sobre vazamento. A análise faz uma boa comparação ao examinar as vendas de HFC-134a nos últimos anos. A tabela a seguir resume a análise de vazamento a partir de diferentes fontes apresentada no artigo:

Tipo de vazamento	Cenário de baixo vazamento [g/ano]	Cenário de alto vazamento [g/ano]
Taxas de vazamento regulares	13,6	15,0
Vazamentos	17,0	17,0
Vazamentos de	4,4	7,8
Vazamentos de fim	11,1	50,0
Total	46,1	89,8

Esses resultados também podem ser modificados com base nas regras locais para recuperação e reciclagem. Uma diferença em relação a outros estudos mais antigos é que a suposição de carga média do sistema é menor nesta análise [550 gramas]. Esta é a tendência nos últimos dez anos, pois as OEMs de veículos fazem esforços para reduzir o tamanho e a carga do sistema a fim de reduzir massa e custo.

Com a introdução do sistema de crédito nos EUA, e também com a legislação que está sendo preparada na Europa, mais OEMs de veículos estão introduzindo tecnologias para reduzir o consumo de energia com refrigerantes HFC-134a. O grupo de pesquisa cooperativa IMAC do SAE demonstrou que é possível uma redução de 30% no consumo de energia do sistema MAC. Muitas dessas tecnologias já estão sendo usadas na produção de sistemas com HFC-134a. Dentre elas, destacam-se trocadores de calor internos, separadores de óleo em compressores, maior uso de compressores controlados externamente, etc.

10.4.1.2 Sistemas com dióxido de carbono (R-744)

As quantidades de carga do refrigerante R-744 são tipicamente reduzidas em 20-30%, em comparação com sistemas que usam HFC-134a. A CRP1234 da SAE realizou uma avaliação de risco de sistemas com R-744, em comparação com sistemas que utilizam HFC-1234yf, e determinou que os riscos são baixos e similares. O R-744 demonstrou riscos ligeiramente mais elevados do que o HFC-1234yf. Os padrões da SAE foram desenvolvidos para abordar as melhores práticas de manutenção, práticas de segurança e pureza do refrigerante R-744. Atualmente, a EPA dos EUA considera a aplicação do R-744 como refrigerante em MAC com as restrições de uso previstas pelo Programa da Política de Novas Alternativas Significativas (SNAP) da Lei do Ar Puro dos EUA. A EPA indicou que a decisão final deverá ser divulgada no início de 2011.

Comprovou-se que o R-744, com *design* de sistema apropriado e alterações de controle, é comparável ao HFC-134a em termos de desempenho de refrigeração e emissões totais de equivalentes de CO₂ devido a sistemas MAC e se qualifica para uso na UE sob o atual regulamento a ser aplicado (Diretiva 2006/40/CE). Atualmente, existem barreiras técnicas (confiabilidade, vazamentos, NVH, especialmente ruído do sistema) e desafios comerciais (custos adicionais) que devem ser ultrapassados antes da implementação do R-744 como refrigerante de ar condicionado de veículos.

Atualmente, não existem OEMs ou fornecedores que trabalhem com o R-744 como solução de refrigerante alternativo. Bombas de calor com R-744 são apresentadas como possíveis sistemas de aquecimento para veículos híbridos e para veículos elétricos a bateria. Em comparação com aquecedores de resistência elétrica (aquecedores PTC), que reduzem significativamente o intervalo de condução do veículo, bombas de calor operam em um nível mais elevado de eficiência e oferecem a vantagem de reduzir apenas moderadamente o intervalo de condução do veículo.

10.4.1.3 Sistemas com HFC-152a

Devido a sua inflamabilidade, o HFC-152a exigiria sistemas de segurança adicionais. As quantidades de carga de refrigerante de um sistema de expansão direta podem ser reduzidas em 25-30%, em comparação com o HFC-134a e, com um sistema de circuito secundário, tipicamente em 50%. Especialistas do setor discutiram o uso do R-152a, mas apenas em sistemas com circuito secundário. Os custos adicionais, o aumento de peso do sistema e restrições de tamanho constituem obstáculos a sua implementação. A EPA dos EUA estudou o uso potencial de HFC-

152a como fluido refrigerante no âmbito do Programa da Política de Novas Alternativas Significativas (SNAP) da Lei do Ar Puro dos EUA e listou o HFC-152a no SNAP como fluido refrigerante, com a seguinte condição de uso:

- Estratégias de engenharia e/ou dispositivos devem ser incorporados no sistema de forma que vazamentos previsíveis para o compartimento de passageiros não resultem em concentrações de HFC-152a de 3.7% v/v ou superiores em qualquer parte do espaço livre dentro do compartimento de passageiros por mais de 15 segundos quando a ignição do carro estiver ligada.

Em um sistema de circuito secundário, foi comprovado que o HFC-152a é comparável com o HFC-134a em relação a seu desempenho de refrigeração e a emissões de equivalentes de CO₂ devido aos sistemas MAC e que se qualifica para uso na UE sob os regulamentos acima mencionados.

Até o momento, nenhum fabricante de automóveis escolheu o HFC-152a como refrigerante para produção em série de MAC devido a problemas técnicos ou comerciais relacionados com o sistema de circuito secundário. A maior parte da atividade de desenvolvimento deu ênfase ao uso deste refrigerante em sistema de circuito secundário (SLS) como meio de assegurar a utilização segura. Um sistema de circuito secundário utiliza glicol e água como fluido de arrefecimento direto no compartimento de passageiros, com o líquido de arrefecimento refrigerado pelo refrigerante. Protótipos de veículos foram testados por várias OEMs. Na reunião de 2010 da ARSES do SAE, uma OEM dos EUA indicou que ainda realiza algum desenvolvimento com esta alternativa. Uma OEM italiana apresentou um projeto financiado pela UE com o desenvolvimento ainda não finalizado de SLS usando R-134a (e não R-152a) para produção em massa. Com muitos novos *designs* de veículos, o uso de um sistema de circuito secundário pode ter vantagens para paragem automática ao ralenti, arrefecimento de baterias ou arrefecimento de eletrônicos de bordo. Ele também reduz a quantidade de refrigerante necessária para instalações com vários evaporadores, uma vez que o líquido de arrefecimento resfriado é circulado por todo o veículo, não o refrigerante.

10.4.1.4 Misturas alternativas

No início de 2006, várias empresas químicas anunciaram novas misturas de refrigerante não inflamáveis para substituir o HFC-134a na Europa. Uma delas era uma mistura azeotrópica de CF₃I e HFC-1234yf (2,3,3,3-tetrafluoroprop-1-eno). Duas outras formulações eram misturas zeotrópicas de HFC-1234yf, HFC-1225ze, HFC-1225ye, HFC-32 e pequenas concentrações de HFC-134a. Esses refrigerantes nunca foram classificados pela ASHRAE ou propostos à EPA dos EUA para aprovação SNAP. Todas as misturas alternativas tinham PAG menor que 150, cumprindo com requisitos da UE para refrigerantes de PAG baixo.

Em 2006, a ACEA, a VDA, a SAE e Associações de Construtores de Automóveis do Japão ajudaram em esforços cooperativos para avaliar esses fluidos refrigerantes. As misturas de refrigerante foram retiradas do mercado por empresas químicas no quarto trimestre de 2007 depois da descoberta de efeitos toxicológicos crônicos e de alguns efeitos de estabilidade.

Outras misturas alternativas com baixo PAG ainda estão em consideração para ar condicionado móvel, bem como para outras aplicações estacionárias.

10.4.1.5 Hidrocarbonetos e misturas que contêm hidrocarbonetos

Na Austrália e nos EUA, misturas de hidrocarbonetos foram introduzidas como refrigerantes *drop-in* para substituir o CFC-12 e, em menor medida, o HFC-134a. O número real de carros que tiveram *retrofit* com essas misturas de refrigerante HC é desconhecido, mas parece ser significativo. Os *retrofits* com HCs são legais em alguns estados australianos e ilegais em outros e nos EUA. A EPA dos EUA proibiu os usos de HCs para *retrofit*, mas considerou a possibilidade de utilização de HCs em novos sistemas, desde que problemas de segurança sejam mitigados.

HCs ou misturas de HCs, quando corretamente escolhidos, apresentam propriedades

termodinâmicas adequadas para o ciclo de compressão de vapor e permitem que uma elevada eficiência energética seja atingida com sistemas bem projetados. Alguns estudos foram realizados utilizando hidrocarbonetos em sistemas indiretos (mesmo sistema que o sistema de circuito secundário apresentado acima para o HFC-152a). No entanto, mesmo com sistemas indiretos, os HCs até o momento não são vistos por fabricantes de veículos como fluidos de reposição para sistemas de AC produzidos em massa devido a questões de segurança.

10.4.1.6 Sistemas com HFC-1234yf

O HFC-1234yf insaturado qualifica-se para uso na União Europeia de acordo com os regulamentos acima mencionados. Devido à maior densidade do HFC-1234yf em comparação com o HFC-134a, talvez seja possível reduzir a quantidade de carga. O desempenho do HFC-1234yf também poderia se beneficiar do uso de um trocador de calor interno. Nesse caso, as quantidades de carga de HFC-1234yf poderiam aumentar de 5 a 15%. Os fabricantes estão estudando em formas de reduzir o volume do sistema para reduzir a carga de refrigerante adicional devido ao custo do HFC-1234yf em comparação com o HFC-134a. O HFC-1234yf é um novo produto químico que recentemente recebeu a Pre-manufacture Notice (Notificação de Pré-manufatura/PMN) da EPA e está passando por revisão do SNAP da EPA. No futuro próximo, a EPA deve divulgar sua decisão final sobre essa substância e restrições de uso potencialmente associadas. Ela foi registrada para aplicações de alto volume para revisão/regulamentação da REACH, na UE. A aplicação REACH de alto volume foi apresentada em fevereiro de 2009. Tal como acontece com o HFC-152a, a utilização de qualquer substituto inflamável está sujeita a condições de segurança estatais dos EUA sobre refrigerantes inflamáveis. A EPA dos EUA informou que barreiras aos refrigerantes listados na SNAP da EPA foram removidas em todos os estados.

O Instituto Federal Alemão para Pesquisas de Materiais (BAM) investigou a inflamabilidade do HFC-1234yf. Foi constatado que, no caso de vazamentos de HFC-1234yf, a probabilidade de produção de atmosferas explosivas na presença de hidrocarbonetos (menos de 1%, que pode ocorrer no compartimento do motor devido a gasolina ou óleo de cracking) é maior do que a de vazamentos de HFC-134a, mas esta atmosfera explosiva é menor do que aquela gerada por hidrocarbonetos puros. Também foi constatado que a formação de quantidades perigosas de HF quando o HFC-1234yf é exposto a fontes de ignição (como chamas abertas e superfícies quentes, com temperaturas de, por exemplo, 350°C ou 500°C) é crítica. Os testes foram realizados em comparação com o HFC-134a, que também pode formar HF quando exposto a fontes de ignição. O relatório do BAM afirma que o HFC-134a não é tão reativo quanto o HFC-1234yf, de modo que os riscos relacionados à formação de HF são considerados mais baixos para o HFC-134a do que para o HFC-1234yf. Os fabricantes de veículos explicaram que esses testes não foram realizados de maneira típica ao ambiente sob o capô, uma vez que a maioria dos testes foram conduzidos em um compartimento selado. Apenas alguns dos testes foram realmente realizados em um carro real.

Em um sistema de evaporação direta, foi comprovado que o HFC-1234yf é comparável com o HFC-134a em relação a seu desempenho de refrigeração e a emissões de equivalentes de CO₂ devido aos sistemas MAC com algumas modificações e que se qualifica para uso na UE sob o regulamento acima mencionado.

Em um Programa de Pesquisa Cooperativa global administrado pela SAE, o refrigerante foi testado em numerosos laboratórios em relação a compatibilidade de materiais, estabilidade termoquímica, toxicidade do refrigerante e produtos de decomposição e inflamabilidade do refrigerante. Os resultados mostraram não haver problemas de compatibilidade e estabilidade. Uma detalhada Análise de Árvore de Falhas (AAF) com foco no potencial de risco devido a inflamabilidade do refrigerante, toxicidade e produtos da decomposição foi realizada. Com base nos resultados, conclui-se que o HFC-1234yf é aceitável para uso em ar condicionado móvel do ponto de vista da toxicidade. As avaliações de risco concluíram que há uma probabilidade extremamente baixa de ignição do refrigerante associada ao HFC-1234yf durante uma liberação acidental. Com a aplicação de novas normas de segurança, considera-se que os requisitos específicos do HFC-1234yf mantêm os atuais níveis de segurança do veículo.

Em novembro de 2009, todas as principais OEMs de automóveis do mundo concluíram, depois

de extensos testes e análises, que o HFC-1234yf pode ser usado como refrigerante de substituição global em futuros sistemas de ar condicionado móvel e que pode ser seguramente acomodados por meio de práticas e padrões da indústria estabelecidos para o *design*, a engenharia, a fabricação e a manutenção de veículos.

Ainda há obstáculos (miscibilidade com óleo, problemas de estabilidade na presença de pequenas quantidades de água e ar no sistema de ar condicionado, mistura com HFC-134a, custos adicionais) que devem ser ultrapassados para a aplicação comercial do HFC-1234yf como refrigerante para o ar condicionado de automóveis de passageiros.

O HFC-1234yf exige um percurso diferente de processo químico, em comparação com aquele do HFC-134a, e uma conversão simples dos equipamentos existentes não é possível. Duas empresas norte-americanas de produtos químicos anunciaram a instalação de uma nova usina de produção de HFC-1234yf a fim de suprir a demanda do mercado após a aprovação regulatória. Essas empresas agora compartilham patentes sobre o uso desse refrigerante em sistemas MAC e outros fabricantes terão de adquirir uma licença para a fabricação.

Uma OEM americana anunciou sua intenção de utilizar o HFC-1234yf na produção de veículos de série a partir de 2013. Outras OEMs de veículos expressaram interesse no HFC-1234yf, mas ainda não anunciaram oficialmente o compromisso de usar HFC-1234yf como refrigerante para a produção de A/C em série. As OEMs indicam que irão projetar sistemas MAC com HFC-1234yf de forma que esses sistemas também possam ser usados com segurança com o refrigerante HFC-134a. Isso afetará a transição mundial do HFC-134a para o HFC-1234yf para sistemas MAC. Atualmente, a escolha que ganha força entre os fabricantes de automóveis do mundo parece ser o HFC-1234yf. Com base na transição anterior da indústria do CFC-12 para o HFC-134a, pode ser constatado que o HFC-134a será utilizado como refrigerante de serviço por 10-15 anos depois que as regiões fizerem a transição para o uso de HFC-1234yf.

10.4.2 Ar condicionado de ônibus e trens

Em todo o mundo, aproximadamente 50% da frota de ônibus e trens ainda é equipada com sistemas com HCFC-22. O restante usa principalmente sistemas com HFC-134a ou R-407C. A maioria dos novos sistemas de ar condicionado de ônibus ou trens é equipada com os refrigerantes HFC-134a ou R-407C. As únicas ações relatadas em relação a refrigerantes com baixo PAG são testes que estão sendo realizados em ônibus com sistemas que usam R-744.

Atualmente, só há relatórios de dados confiáveis sobre vazamentos em sistemas de ar condicionado móvel para ônibus de curta e longa distância e para veículos ferroviários em relação à Europa, com base em um estudo realizado a pedido da Comissão Europeia. O estudo baseia-se em 2.000 formulários de relatório sobre as inspeções de sistemas instalados em ônibus de curta e longa distância na Suécia. Ele estabeleceu empiricamente a taxa de vazamento anual para a fase de uso dos veículos. Em ônibus, recargas ou abastecimentos (*gas-and-go*) são realizados em intervalos de serviço relativamente curtos para compensar vazamentos, independentemente de sua natureza. Essas recargas estão registradas ao longo de um tempo suficientemente longo e com detalhes adequados na Suécia, onde a inspeção anual é obrigatória para todas as instalações com uma carga de refrigerante de HFCs maior que 3 kg.

Com base em uma análise estatística dos dados de recarga registrados, o estudo conclui que a taxa de vazamento média de novos MACs (ano 2000 e mais recentes) em ônibus de longa distância a diesel é de $1,20 \pm 0,74$ kg/ano e é da mesma magnitude que as taxas de vazamento de MACs dos novos ônibus de curta distância movidos a diesel, com $0,92 \pm 0,40$ kg/ano. Considerando que as taxas de refrigerante típicas dos sistemas de ar condicionado de ônibus são de cerca de 10 kg, isso significa que as taxas de vazamento anuais de novos ônibus são de cerca de 10% da carga original. No entanto, conforme os ônibus envelhecem, as taxas de vazamento aumentam. Ônibus fabricados antes de 2000 tinham taxas de vazamento de pelo menos o dobro.

Em comparação com os ônibus de curta e longa distância, as taxas de vazamento de sistemas de ar condicionado de veículos ferroviários são muito mais baixas, com 5% da carga de refrigerante original por ano para a grande maioria dos veículos. As quantidades de carga típicas de sistemas

de ar condicionado de trens são superiores a 10 kg por sistema. Dependendo de seu comprimento, um trem pode ser equipado com vários desses sistemas.

Atualmente, não existe regulamentação mundial sobre o uso de gases de efeito estufa fluorados usados como refrigerantes para sistemas MAC em ônibus e trens. É provável que a escolha de refrigerante de sistemas de ar condicionado de automóveis de passageiros venha a influenciar a escolha do refrigerante para os sistemas de ar condicionado de ônibus e trens.

10.5 Referências

- 1234yf OEM group: Update 1234 as a replacement for R134a, MAC Summit, Scottsdale, 2008.
- Andersen, Stephen O., Kristen N. Taddonio, US EPA Climate Protection Partnerships Division, New Realities In MAC Refrigerant Choice, Stephen, MACs Convention, 06 February 2009. [<http://www.epa.gov/cppd/mac/2010-mac-annualmtg-0120.htm>]
- Arkema Press Release, Arkema launches an industrial production project in Europe of a low-GWP* fluorinated gas for automotive air-conditioning, July, 2008.
- ARMINES Reference 70890, Arnaud Tremoulet, Youssef Riachi, David Sousa, Lionel Palandre, Denis Clodic, Evaluation of the Potential Impact of Emissions of HFC-134a from Nonprofessional Servicing of Motor Vehicle Air Conditioning Systems, CARB Agreement No. 06-341, July, 2008.
- ASHRAE Position Document on Natural Refrigerants, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 28 January, 2009 (<http://www.ashrae.org/aboutus/page/335>).
- Automobiltechnische Zeitschrift, September 14, 2009: <http://www.atzonline.de/Aktuell/Nachrichten/1/10454/ixetic-CO2-Waermepumpe-optimiert-Thermomanagement-von-Elektroautos.html>
- Automobiltechnische Zeitschrift, September 1, 2010: <http://www.atzonline.de/index.php;do=show/alloc=1/Ing=de/id=12319/site=a4e>
- Baker, James, Mahmoud Ghodbane, John Rugh, William Hill, Alternative Refrigerant Demonstration Vehicles, SAE ARSS 2007
- Baker, James A., Revising J-2727, 2006 ARSS.
- Bang, Scott, Comparative Life Cycle Assessment on Alternative Refrigerants, SAE ARSS 2008
- Bang, Scott, Evaluation Result of HFO-1234yf as an Alternative Refrigerant for Automotive Air Conditioning, VDA Winter Meeting, 2008
- Clodic, D., G. El Khoury, Energy consumption and environmental footprint of MAC system of full hybrid vehicles, VDA Winter Meeting, 2009
- Bauer, I., Transport Refrigeration – Current Technologies, Market and Trends, Master Thesis Karlsruhe University of Applied Sciences, May 2006
- Comments to the HFC-1234yf SNAP proposal: Risk Assessment for Alternative Refrigerants HFO-1234yf and R-744 (CO₂) Phase III report, Dec. 18, 2009
- Bouvy, Claude, Kälte aus Wärme - Adsorptionstechnik für die Klimatisierung im Automobil, ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, 04/2010
- Caretto, L. and Monforte, R., Safety Issues in the Application of a Flammable Refrigerant Gas in MAC Systems: The OEM Perspective [Revised July, 2009]”, SAE 2009-01-0541, SAE 2009 World Congr. Proc., Detroit (MI), USA, Apr 20÷23rd, 2009
- Comments to EPAs proposed ruling: [<http://www.regulations.gov/search/Regs/home.html#documentDetail?R=0900006480a6df2d>], Dr. Thomas Lewandowski, Gradient Corporation
- Additional Comments on the EPA SNAP proposal can be found at the following link at www.regulations.gov: <http://www.regulations.gov/search/Regs/home.html#searchResults?No=70&Ne=11+8+8053+8098+8074+8066+8084+1&Ntt=EPA-HQ-OAR-2008-0664&Ntk=All&Ntx=mode+matchall&N=0>
- Cox, N. , V. Mazur, D. Colbourne, New High Pressure Low- GWP Azeotropic And Near-Azeotropic Refrigerant Blends, 12th International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue University, July, 2008.
- Directive 2006/40/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 relating to emissions from air-conditioning systems in motor vehicles and amending Council Directive 70/156/EEC, Official Journal of the European Union L161/12 (2006). DuPont and Honeywell:
- Guidelines for Use and Handling of HFC-1234yf. 2008.

- DuPont, Honeywell: Announcement of the installation of a new HFC-1234yf production plant, http://www51.honeywell.com/honeywell/news-events/press-releases-details/10_0520_Honeywell_Dupont.html, May, 2010
- Elbel, Stefan, Pega Hrnjak, Experimental Validation of a CO2 Prototype Ejector with Integrated High-Side Pressure Control, VDA Winter Meeting, 2007
- Eustice, Harry, Assessment of Alternate Refrigerants for EU Regulations, SAE Phoenix, ARSS, June 2008
- GM announcement:
http://media.gm.com/content/media/us/en/news/news_detail.brand_gm.html/content/Pages/news/us/en/2010/July/0723_refrigerant
- Graaf, Marc, The Influence of the Accumulator and Internal Heat Exchanger Design as separate and combined Components on the System Behaviour of a R744 A/C System, VDA Winter Meeting, 2005
- Graz, Martin, Investigation on Additional Fuel Consumption for a R134a and R744 AC – System in a VW Touran, VDA Winter Meeting, 2009
- Grimm, Ulrich, Complex Interactions of Low GWP Refrigerants, A/C Oils, and Materials in MAC Circuits, Automotive Refrigerant and System Efficiency Symposium, SAE, Scottsdale, July 13-15, 2010.
- Hammer, Hans, Results of Audi A5 Evaluation with Alternate Refrigerants, SAE ARSS 2008
- Heckt, Roman, Cost efficient R744 AC System for Compact Vehicles, VDA Winter Meeting, 2005
- Hekkenberg, M., Anton J.M. Schoot Uiterkamp, University of Groningen, Center for Energy and Environmental Studies IVEM, Nijenborgh 4, 9747 AG Groningen, The Netherlands, Exploring policy strategies for mitigating HFC emissions from refrigeration and air conditioning, international journal of greenhouse gas control 1 (2007) 298 – 308
- Holtappels, K., BAM Test Report II-2318/2009, Determination of the explosion region of ethane-HFO1234yf-air mixtures, BAM Federal Institute for Materials Research and Testing, 12200 Berlin, November 17, 2009, http://www.umweltbundesamt.de/produkte/dokumente/test_report_hfo1234yf.pdf [also available on EPA SNAP website]
- Holtappels, K., BAM Test Report II-2318/2009 I, Ignition behaviour of HFC-1234yf, BAM Federal Institute for Materials Research and Testing, 12200 Berlin, June 22, 2010, http://www.umweltbundesamt.de/produkte/dokumente/test_report_hfo1234yf_2010_06.pdf
- Honeywell Patents: EP1716216B1, US patents 7279451 and 7534366, available at <http://www.freepatentsonline.com/>
- Hrnjak, Pega, Technological and theoretical opportunities for further improvement of efficiency and performance of the refrigerant candidates achievements and potentials of efficiency increase, VDA Winter Meeting, 2007
- Ikegami, Tohru, Masahiro Iguchi, Kenta Aoki, Kenji Iijima, New Refrigerants Evaluation Results, VDA Winter Meeting, 2008
- Ikegami, Tohru, Masahiro Iguchi, Kenta Aoki, Kenji Iijima, New Refrigerants Evaluation Results, SAE ARSS 2008
- IPCC/TEAP Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons, 2005 Prepared by Working Group I and III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, and the Technology and Economic Assessment Panel, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 488 pp.
- Jung, Dongsoo, Yoonsik Ham, Performance of R429A and R430A to replace HFC134a in mobile air-conditioners, Phoenix 2007, ARSS.
- Koehler, J., Strupp, N. C., Kling, M. E., and Lemke, N. C.: Refrigerant comparison for different climatic regions. The International Symposium on New Refrigerants and Environmental Technology, Kobe, 20-21 November 2008.

- König, Holger, Rüdiger Roth, Part 1: Development of a supercritical CO₂-test rig Part 2: CO₂-State of the Art in Industrial Refrigeration, VDA Winter Meeting, 2005
- Kozakiewicz, Agnieszka, and Steininger, Nikolaus, The Regulatory Approach to MACs in the European Union, ARSES, July, 2010
- Low, R. E.: Update on INEOS Fluor Refrigerant Development Program. VDA Winter Meeting, Saalfelden, 11-12 February 2009.
- Low, R.E.: Minderung des Einflusses von Klimaanlage auf die Umwelt – Perspektiven von INEOS Fluor, DKV Annual German Refrigeration and Air Conditioning Conference, Berlin, November 18-20, 2009
- Magnetto, Daniela, Carloandrea Malvicino, Thermal Systems Integration for Fuel Economy, SAE Phoenix ARSES, July, 2010
- Malvicino, C., The 4 Fiat Pandas Experiment and other considerations on refrigerants, SAE ARSS 2008
- Malvicino, Carloandrea, B-Cool, Low Cost and High Efficiency CO₂ Mobile Air Conditioning system for lower segment cars, VDA Winter Meeting, 2005
- Man-Hoe Kim, J.-S. Shin, W.-G. Park, S. Y. Lee, The Test Results of Refrigerant R152a in an Automotive Air-Conditioning System, Phoenix ARSS 2008.
- Meininghaus, Roman, Dietmar Fischer, MAC Energy Efficiency, 1. A Broader Perspective, 2. Aspects of Virtual Testing, VDA Winter Meeting, 2009
- Meyer, John, R1234yf System Enhancements and Comparison to R134a, SAE ARSS 2008
- Monforte, R., B. Rose, J-M. L'Huillier, Fiat, Renault and PSA outlook on the selection of a Global Alternative Refrigerant, SAE ARSS 2007
- Monforte, R., B. Rose, J-M. L'Huillier, Updated situation about alternative refrigerant evaluation, SAE ARSS 2008
- Monforte R., MAC System Fuel Consumption in various climate conditions, SAE ARSS 2007
- Monforte, Roberto, Carloandrea Malvicino, Tim Craig, Secondary Loop System for small cars, 2nd European Workshop on MACS & Auxiliaries, Mirafiori Motor Village, Torino - 29/11/07.
- Monforte, Roberto, Alternative Refrigerants, Assessment of the Environmental Impact of MACS and Investigation of its reduction drivers, VDA Winter Meeting, 2008
- Morgenstern, Stefan, R744 MAC Status and System Standardization, VDA Winter Meeting, 2008
- Nelson, Brain, Air Conditioning Credits in the Light-Duty GHG Rule (and Beyond), SAE ARSES, July, 2010
- Papasavva, Stella, William R. Hill, Assessing the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of HFC-134a, HFC-1234yf and R-744 using GREEN-MAC-LCCP©, VDA Winter Meeting, 2009
- Papasavva, Stella, William R. Hill, GREEN-MAC-LCCP© Global Refrigerants Energy & Environmental – Mobile Air Conditioning - Life Cycle Climate Performance, SAE ARSS 2007
- Papasavva, Stella, Deborah J. Luecken, Robert Waterland, Kristen Taddonio, Stephen Andersen, Estimated 2017 Refrigerant Emissions of 2,3,3,3-tetrafluoropropene [HFC-1234yf] in the United States Resulting from Automobile Air Conditioning, Environmental Science Technology, Nov., 2009
- Peral-Antunez, Enrique and Rose, Bruno, MAC fuel consumption “simple-test” methodology, Comparison of test benches, engine types and MAC technologies, ARSES, July, 2010
- Updated at European Commission workshop (Brussels, Oct 7th 2010) (the document is available on CIRCA website
http://circa.europa.eu/Members/irc/enterprise/wltp/library?l=/meetings/100907_mac&vm=detail&sb=Title)
- Petitjean, Christophe, Jugurtha Benouali, R-1234yf Validation and A/C System Energy Efficiency Improvements, Automotive Refrigerant and System Efficiency Symposium, SAE, Scottsdale, July 13-15, 2010.
- Porrett, Ken, Eric Scarlett, 1234yf System Evaluation, SAE ARSS 2008

- Restuccia, Giovanni, Angelo Freni, Salvatore Vasta, Alessio Sapienza, Fabio Costa, An innovative prototype of adsorption chiller for mobile air conditioning, Thermal and Environmental Issues in Energy Systems, ASME Conference, Sorrento, Italy, May 2010
- Riegel, Harald, Efficiency of Mobile Air Conditioning, SAE ARSS 2008
- Riegel, Harald, Efficiency of Refrigerant Circuits – Comparison of Alternative Refrigerants, SAE ARSS 2007
- Riegel, Harald, Status of R744 Development, VDA Winter Meeting, 2007
- Rinne, Frank, HFO-1234yf Technology Update-Part I, VDA Winter Meeting, 2009
- Rose, Bruno, E. Peral-Antunez, MAC fuel consumption “simple-test” methodology, Comparison of test benches, engine types and MAC technologies, Phoenix SAE ARSES, July, 2010
- SAE, <http://www.sae.org/mags/sve/6323>, 14 May 2009 (information regarding composition AC-4 blend, containing HFC-1243-zf)
- SAE, <http://www.sae.org/standardsdev/tsb/cooperative/crp1234-3.pdf>, 10 November 2009 (information regarding CRP1234 Report)
- Schwarz, W. and Rhiemeier, J. M.: The analysis of the emissions of fluorinated greenhouse gases from refrigeration and air conditioning equipment used in the transport sector other than road transport and options for reducing these emissions, Maritime, Rail, and Aircraft Sector. Final Report prepared for the European Commission (DG Environment), (07010401/2006/445124/MAR/C4) 2 November 2007.
- Schwarz, W.: Establishment of Leakage Rates of Mobile Air Conditioners in Heavy Duty Vehicle, Part 2 Buses and Coaches. Final Report prepared for the European Commission (DG Environment), (ENV.C.1/SER/2005/0091r) 31 January 2007.
- Science, Fred : Improved Mobile Air Conditioning Cooperative Research Program, Presented at the SAE 2006 Automotive Alternate Refrigerants Systems Symposium, Scottsdale, AZ, June 2006, SAE International, Warrendale, PA 15096-0001.
- Spatz, Mark, Barbara Minor, HFO-1234yf Low GWP Refrigerant: A Global Sustainable Solution for Mobile Air Conditioning, SAE ARSS 2008
- Spatz, Mark, HFO-1234yf Technology Update-Part 2, VDA Winter Meeting, 2009
- Spatz, Mark, Barbara Minor, HFO-1234yf A Low GWP Refrigerant For MAC, Honeywell / DuPont Joint Collaboration, VDA Winter Meeting, 2008
- Strupp, Niels Christian, Betriebsverhalten von Verflüssigern in automobilen Kältekreisläufen, Ph.D. thesis, University of Braunschweig, Braunschweig, January 2011
- Thundiyl, K.: Refrigerant choice under SNAP. VDA Winter Meeting, Saalfelden, 11-12 February 2009.
- U.S. Environmental Protection Agency (2004), Risk Analysis for Alternative Refrigerant in Motor Vehicle Air Conditioning. U.S. EPA, Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency (2009), Report of the EPA Working Group on R744 (Working Document), Kristen Taddonio, Lead Author, U.S. EPA, Washington D.C.
- UNEP (United Nations Environment Program): UNEP Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee (RTOC), 2006 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Committee, 2006 RTOC Assessment Report, United Nations Environment Program, Nairobi, January 2007, 235 pp.
- VDA announcement, Frankfurt am Main, 20 October 2008, <http://www.vda.de/en/meldungen/news/20081020.html>.
- VDA announcement, Frankfurt am Main, 6 September 2007, <http://www.vda.de/en/meldungen/archiv/2007/09/06/1690/>.
- Wazlak, Klaus, Die klimafreundliche Kühlung: Berliner Verkehrsbetriebe fahren mit umweltschonenden CO₂-Klimaanlagen. Press release of the Berliner Verkehrsbetriebe BVG, Holzmarktstraße 15-17, 10179 Berlin, July 2, 2010.
- Wertenbach, Juergen, Overview of Alternate Refrigerants, SAE Phoenix, ARSS 2007
- Weinbrenner, Marcus, Link, Joachim, Strauß, Thomas, Kroner, Peter, Senkung des

- Kraftstoffverbrauches im Winterbetrieb. In: Haus der Technik: PKW-Klimatisierung VI. Expert-Verlag, November 2009, pp.47–63
- Whang, D., D. Crane, J. LaGrandeur, Design and Analysis of a Thermoelectric HVAC System for Passenger Vehicles, SAE 2010 World Congress & Exhibition, April 2010, Detroit, 2010
- Wieschollek, Florian, Dr. Roman Heckt, Improved Efficiency for Small Cars with R-744, VDA Winter Meeting, 2007
- Wiesmueller, Joachim J., Status of R744 Deployment and Way Forward, VDA Winter Meeting, 2006
- Wolf, Frank, R744 the Global Solution Advantages & Possibilities, VDA Winter Meeting, 2007
- www.pca.state.mn.us/climatechange/mobileair.html#leakdata.
- Yang, J., F.R. Stabler, Automotive Applications of Thermoelectric Materials, Journal of Electronic Materials, Vol.38, No.7, p.1245-1251, 2

Capítulo 11

Conservação de refrigerantes

Autor Principal do Capítulo

Julius Banks

Autores principais ou coautores

Radim ýermák

Horace Nelson

Sulkhan Suladze

Paulo Vodianitskaia

11 Conservação de refrigerantes

11.1 Introdução

A conservação de refrigerante pode ser considerada um esforço para aumentar a vida útil de equipamentos de refrigeração e ar condicionado, estabelecendo esforços para recuperar, reciclar e reutilizar refrigerantes. A conservação de refrigerantes também envolve práticas para garantir o acesso e o descarte adequado dos chamados "bancos de refrigerante", encontrados em equipamentos existentes. A eliminação de vazamentos no sistema de refrigeração é fundamental para a conservação da refrigeração e deve ser enfatizada através de práticas adequadas.

Recuperação significa a remoção e o armazenamento temporário do refrigerante que foi removido de um sistema que passa por manutenção ou descarte. Reciclagem significa a passagem do refrigerante recuperado por filtros, a fim de tornar o refrigerante adequado para reutilização. Essa prática geralmente não é destinada a refrigerantes usados que serão reempacotados e colocados de volta no comércio. A regeneração envolve processos que removem impurezas (como não condensáveis, umidade ou ácidos), em essência, reprocessando o refrigerante usado de volta para as especificações virgens com base em padrões de pureza da indústria (por exemplo, Padrão 700-2004 da AHRI e SAE J1991). A destruição, por sua vez, envolve tecnologias aceitas pelo Protocolo (tipicamente, incineração térmica) que efetivamente destroem ODS com eficiências de remoção de destruição estabelecidas.

Esforços de conservação devem ser feitos para a recuperação de refrigerantes no ponto de instalação e continuar ao longo da manutenção até o fim de vida do equipamento. A conservação é obtida pela incorporação de esforços de governos, equipamentos e fabricantes de produtos químicos, bem como proprietários e operadores de equipamentos para o desenvolvimento de abordagens de ciclo de vida destinadas a reduzir as emissões de refrigerante. Os esforços de conservação incluíram também a tributação de refrigerantes em banco, o treinamento obrigatório do pessoal de manutenção, acesso limitado a refrigerantes que destroem a camada de ozônio, práticas de manutenção obrigatórias para reduzir as emissões pela manutenção de sistemas à prova de vazamentos, recuperação de refrigerante durante a manutenção do equipamento e em fim de vida, mercado estabelecido para a revenda e a reutilização de fluidos refrigerantes usados e medidas para a destruição de refrigerantes em estoque ou em banco.

A eliminação contínua (ou, como é o caso de muitas Partes do Protocolo, uma redução) no consumo e na produção de refrigerantes HCFC que destroem o ozônio resultou no uso de refrigerantes com ODP zero e, em muitos casos, PAG baixo como fluido de serviço para os sistemas existentes por meio de um *retrofit* ou conversão de um refrigerante ODS para um refrigerante não ODS.

Requisitos de recuperação/reciclagem/regeneração estão sendo implementados há alguns anos em diferentes países, com resultados comprovados. Esses requisitos foram estabelecidos em conjunto com requisitos de eliminação de refrigerantes ODS. No entanto, muitos países ainda têm de implementar tais requisitos. Poucos países desenvolveram políticas de conservação abrangentes, incluindo recuperação, estanqueidade e destruição de estoques.

As emissões de refrigerante para a atmosfera são frequentemente chamadas de "perdas", sem identificação da causa. A identificação específica das emissões de refrigerante é necessária para limitar a emissão de gases. As emissões de refrigerante consistem em:

- Emissões de gases cuja fonte não pode ser localizada precisamente
- Perda de estanqueidade devido a variações de temperatura, ciclos de pressão e vibrações que podem levar a aumentos inesperados e significativos das taxas de fluxo de vazamento
- Falhas de componentes decorrentes de má construção ou montagem falha
- Perdas em função de vibração excessiva no equipamento
- Perdas em função da manipulação do refrigerante durante a manutenção (por exemplo, na carga do sistema) e o serviço (por exemplo, abrir o sistema sem recuperar o refrigerante anteriormente)

- Perdas acidentais (por exemplo, desastres naturais, incêndios, explosões, sabotagem e roubo),
- Perdas no descarte do equipamento em função de emissões, em vez de recuperar o refrigerante no fim de vida do sistema

11.2 Recuperação, reciclagem e regeneração

A necessidade de conservar ou recuperar refrigerantes levou a indústria a desenvolver uma terminologia específica, que é usada nesta seção /ISO/:

- **Recuperar** significa remover o refrigerante em qualquer condição de um sistema e armazená-lo em um recipiente externo.

- **Reciclar** significa extrair o refrigerante de um equipamento e limpá-lo usando separação de óleo e uma ou várias passagens por secadores de filtro que reduzem a umidade, a acidez e a matéria particulada. A reciclagem normalmente ocorre no local do trabalho de campo.

- **Regenerar** significa reprocessar refrigerante usado, tipicamente por destilação, para que atinja especificações semelhantes às do produto virgem. A regeneração remove contaminantes como água, cloreto, acidez, alto resíduo de ebulição, partículas/sólidos, não condensáveis e impurezas, incluindo outros refrigerantes com diferentes pontos de ebulição. A análise química do refrigerante deve ser solicitada para determinar que as especificações apropriadas sejam atendidas. A identificação de contaminantes e a análise química solicitada devem ser especificadas por referência a padrões nacionais e internacionais para especificações de novos produtos. A regeneração tipicamente ocorre em uma usina de reprocessamento ou manufatura.

- **Destruir** significa destruir o refrigerante usado de maneira ambientalmente responsável.

11.3 Equipamentos de recuperação e reciclagem de refrigerante

O objetivo da recuperação de refrigerante e da recuperação/reciclagem de equipamentos é ajudar a evitar as emissões de refrigerante, fornecendo um meio de armazenar temporariamente os refrigerantes que foram removidos de sistemas submetidos a manutenção ou descarte. Esses equipamentos são usados para armazenar temporariamente refrigerante recuperado até que o sistema submetido à reparação esteja pronto para ser recarregado ou preparado para o descarte. O equipamento de recuperação de refrigerante pode ter a capacidade de armazenar (apenas recuperação) ou a capacidade adicional de reciclar (recuperação e reciclagem) de refrigerantes. A capacidade de armazenamento temporário do equipamento impede a liberação de refrigerantes para a atmosfera que poderia ocorrer se o equipamento de refrigeração e ar condicionado fosse aberto para a atmosfera para o serviço de manutenção.

O uso de equipamentos de recuperação e reciclagem de refrigerante é o meio mais essencial de conservar o refrigerante durante o serviço, manutenção, reparação ou descarte de equipamentos de refrigeração e ar condicionado. O equipamento de recuperação e reciclagem de refrigerante deve ser disponibilizado aos técnicos de manutenção em todos os setores. Deve-se observar que, devido a problemas de incompatibilidade e à variedade de refrigerantes utilizados em diferentes setores, o equipamento de recuperação/reciclagem de refrigerante para uso com um tipo de sistema de ar condicionado, como aparelhos de ar condicionado de veículos automotores, pode não ser adequado para serviço em equipamentos de ar condicionado e refrigeração na refrigeração doméstica, unitária ou comercial e nos setores de ar condicionado. Os tipos de refrigerante utilizados nesses setores variam e nem todos os equipamentos de recuperação/reciclagem são capazes de atender às mesmas exigências. Esta observação importante deve ser feita aos usuários, para garantir que seu equipamento de recuperação seja capaz de tratar dos refrigerantes específicos que são usados no sistema. A identificação específica do equipamento é importante em todo o seu uso, descarte e em fim de vida.

O equipamento de reciclagem deve remover contaminantes como óleo, ácido, partículas, umidade e não condensáveis (ar) dos refrigerantes usados. Esses desempenhos de reciclagem podem ser medido em amostras de refrigerante contaminado de acordo com métodos de ensaio padronizados /ARI 700/. Ao contrário de recuperação, a reciclagem não envolve a análise de cada lote de refrigerante usado e, por conseguinte, não quantifica contaminantes nem identifica refrigerantes mistos /Kau92/. Como consequência, foram impostas restrições ao uso de refrigerante reciclado, pois sua qualidade não é comprovada por análise.

Uma variedade de equipamentos de reciclagem está disponível com preços muito variados. Atualmente, a indústria de ar condicionado automotivo é a única aplicação que prefere a prática de reciclagem e reutilização sem regeneração. A aceitação em outros setores depende de regulamentação nacional, recomendação dos fabricantes de sistemas de refrigeração, existência de outra solução, como uma estação de regeneração, variedade e tipo dos sistemas e preferência do contratante do serviço. A reutilização de refrigerante recuperado sem a estrita observância das adequações de serviço específicas ao tipo de refrigerante pode resultar em liberações indesejadas de refrigerantes mistos. Muitas vezes custa caro separar refrigerantes mistos, o que pode constituir um incentivo para a liberação intencional de refrigerantes com contaminação cruzada. A reciclagem com capacidade de análise limitada pode ser a preferência de alguns países em desenvolvimento onde o acesso a laboratórios qualificados é limitado e os custos de transporte são proibitivos. Para a maioria dos refrigerantes, há uma falta de instrumentos de campo baratos disponíveis para medir os níveis de contaminantes de refrigerante regenerado após o processamento. Ao mesmo tempo, o uso de equipamentos de regeneração, que fornece a máxima separação de óleo, ácido, contaminantes em partículas duras, umidade e ar é preferido em países onde a verificação do refrigerante processado por análise química adequada está disponível.

Equipamentos de recuperação de refrigerante foram desenvolvidos e estão disponíveis com uma ampla variedade de funcionalidades e preços. Alguns equipamentos com potenciais fontes de ignição protegidas também existem para a recuperação de refrigerantes inflamáveis. Padrões de teste foram desenvolvidos para medir o desempenho dos equipamentos para aplicações nos setores automotivo /SAE/ e não automotivo /ISO/. Embora a recuperação de líquido seja a mais eficiente, métodos de recuperação de vapor podem ser utilizados isoladamente para remover toda a carga de refrigerante, desde que o tempo não seja excessivo. Tempos de recuperação excessivos devem ser evitados, uma vez que longos períodos de tempo de recuperação podem aumentar o tempo de serviço de técnicos. Tempos de serviço maiores podem limitar o número de chamadas de serviço que os técnicos podem realizar, limitando o uso prático do equipamento de recuperação. Para alcançar os níveis de vácuo exigidos em alguns países para sistemas maiores, a recuperação de vapor é utilizada após a recuperação de líquido /Clo94/. Os padrões de desempenho para equipamentos de recuperação de refrigerante estão disponíveis para o serviço de ar condicionado de veículos automotores (por exemplo, SAE J1990) e também para sistemas de refrigeração e ar condicionado estacionários (por exemplo, a Norma ARI 740-1998 e as Normas AHRI para a certificação). A adoção desses padrões como parte dos procedimentos comuns de serviço deve ser aprovada pelas autoridades reguladoras.

11.4 Treinamento de técnicos e certificação de serviço

Cada vez mais governos percebem a necessidade de programas de certificação de técnicos e/ou empresas certificadas para garantir a manipulação adequada de produtos regulamentados. Os requisitos de treinamento podem variar, dependendo do tipo de equipamento em manutenção. Os programas de treinamento devem ser estruturados de acordo com o tipo de equipamento com o qual o técnico pretende trabalhar. Por exemplo, o nível de treinamento para a manutenção de refrigeradores residenciais deve ser diferente daquele exigido para resfriadores centrífugos.

O uso de misturas de HFCs aumentou em vários setores de uso final. É imperativo que os técnicos sejam devidamente treinados para o uso e manejo adequado de todas as alternativas de refrigerante.

Os hidrocarbonetos têm ampla aceitação em muitos pequenos aparelhos. Como meio de garantir que somente pessoas treinadas tenham acesso a refrigerantes, muitos países implementam restrições de vendas de refrigerantes a técnicos certificados.

Nos EUA, um programa de certificação de técnicos foi estabelecido. Esse programa é destinado a técnicos individuais e a empresas que realizam manutenção, serviço, reparo ou descarte de fluidos refrigerantes que têm risco razoável de liberação para a atmosfera. O programa exige diferentes níveis de certificação, dependendo do tipo de equipamento que o técnico pretende descartar ou reparar: veículos automotores; pequenos eletrodomésticos; ou aparelhos de baixa pressão, alta pressão e muito alta pressão. Os EUA enfatizam essa certificação técnica, limitando as vendas de refrigerantes ODS a técnicos certificados.

Em muitos países, exigências estritas de treinamento e certificação para técnicos de refrigeração que manipulam gases refrigerantes já são uma exigência legal. **Inserir texto sobre os Regulamentos de F-180**

gases da UE (CE 842/2006) e sobre o Regulamento associado sobre treinamento e certificação de indivíduos e empresas (CE 303/2008).} Os Regulamentos de F-gases foram introduzidos a partir de 4 de julho de 2007. Os Estados-Membros deveriam estabelecer requisitos de treinamento e certificação para indivíduos até 4 de julho de 2008 e as empresas tinham de obter certificação até 4 de julho de 2009. Além disso, os Regulamentos sobre ODS da UE (CE 2037/2000) foram reeditados na forma do Regulamento CE 1005/2009, efetivo a partir de 1 de janeiro de 2010.

No Japão, as obrigações dos operadores de recuperação são especificadas pela Lei de Recuperação e Destruição de Fluorcarbonos. Como uma das obrigações, os operadores de recuperação devem receber autorização como “operadores de recuperação registrados”. Os operadores de recuperação também devem ter técnicos certificados por uma autoridade governamental reconhecida. O programa de treinamento e certificação de técnicos foi iniciado em 1994 pelas associações interessadas de instaladores, fabricantes de equipamentos e fabricantes de refrigerantes. Desde o início do programa, seminários de formação foram realizados para operadores de recuperação em todo o país. O número total de técnicos que passaram no exame final e receberam o certificado nos últimos 12 anos atingiu cerca de 50.000.

Na Polônia, um total de 1.840 pessoas foram treinadas, das quais cerca de 94% foram aprovadas no exame final e receberam o "Green Card". Este certificado garante a capacidade do funcionário para reparar e executar a manutenção de equipamentos de refrigeração e ar condicionado de acordo com todas as exigências ecológicas. Aqueles que passam com sucesso pelo processo de treinamento e certificação recebem informações importantes (novos tipos de refrigerantes ecológicos, principais acordos internacionais que visam a proteger a camada de ozônio) /BU01/.

Um elemento chave dos Programas de Gestão de Riscos (PGR) e programas de atualização de PGR realizados em países da Europa Oriental, do Cáucaso e da Ásia Central era iniciar o treinamento sobre Boas Práticas para reduzir a demanda por CFC através da introdução de métodos adequados para redução de vazamentos e recuperação. Como exemplo, a República da Geórgia melhorou a capacidade de formação das escolas profissionais que educam técnicos nos campos de refrigeração ou ar condicionado por meio do aperfeiçoamento do currículo e dos equipamentos das escolas profissionalizantes e da competência dos professores.

Em 2004, Belize informou ao PNUMA que o consumo de CFC estava abaixo do nível exigido no plano de ação aprovado. Desde sua implantação, a Unidade Nacional do Ozônio implementou com sucesso um Plano de Gestão de Refrigerantes, promulgou um quadro legal abrangente para lidar com substâncias que destroem a camada de ozônio, conduziu um programa de conscientização pública e reduziu o consumo nacional de CFC pela metade, de 24,89 toneladas de ODP no ano de 1998 para aproximadamente 12 toneladas de ODP em 2005. O sucesso do país pode ser parcialmente atribuído à criação de uma certificação e de um regime de licenciamento para técnicos de refrigeração.

11.5 Regeneração, separação e destruição de refrigerantes

11.5.1 Regeneração e separação

Um meio de conservação é o estabelecimento de um regime de regeneração. A regeneração envolve a recuperação e a regeneração do refrigerante usado de volta para especificações virgens. Uma vez regenerados, os refrigerantes usados são reembalados e vendidos para novos usuários. A regeneração é essencialmente uma indústria baseada no mercado.

Se não há demanda de um refrigerante específico, os custos de envio do refrigerante recuperado para instalações de regeneração serão um desestímulo à regeneração. Os esforços devem ser iniciados cedo junto a empresas de fornecimento de refrigerante para apoiar a retomada dos refrigerantes usados. Muitos estabelecimentos de serviço (especialmente para ar condicionado de veículos automotores) não são capazes de arcar com os custos de armazenamento de refrigerantes recuperados que aguardam regeneração. O custo do envio de pequenas quantidades de refrigerante recuperado para instalações de regeneração é um desestímulo aos esforços de regeneração. Esses desestímulos promovem a liberação de refrigerantes estocados.

Cuidados devem ser tomados pelos formuladores de políticas para eliminar rotas paralelas (e potencialmente ilegais) para o mercado. Evitar os refrigerantes usados indevidamente regenerados requer auditoria rigorosa da cadeia de distribuição de refrigerantes.

As práticas de regeneração, que processam refrigerante usado de volta para especificações próximas às do refrigerante virgem, são necessárias para proteger a qualidade do estoque de refrigerante, bem como o equipamento que contém o fluido refrigerante. Da mesma forma, a recuperação também estende a vida útil do refrigerante e diminui a dependência do refrigerante virgem, colocando-o de volta em serviço e prolongando o tempo de uso de refrigerantes usados.

Países que implementaram requisitos obrigatórios de regeneração experimentaram aumentos incrementais na quantidade de refrigerante regenerado. A França, onde totais de refrigerantes regenerados foram coletados, mostra uma evolução na eficiência do programa de recuperação /SAU96/. Em 1992, sem qualquer regulamentação, 200 toneladas métricas de refrigerante recuperado (CFCs e HCFCs) foram regeneradas. Em 1993, depois de tornar a recuperação obrigatória e de implementar um esquema de reembolso de depósitos, a quantidade cresceu para 300 toneladas e o número de empresas de refrigeração envolvidas duplicou de 200 para 400 entre 2.500. Neste exemplo, incentivos governamentais foram necessários para alcançar o desenvolvimento integral dos regimes de recuperação. O exemplo mostra também que tornar a recuperação um hábito requer algum tempo.

Um extenso levantamento realizado na Austrália /BEN01/ traçou os caminhos de refrigerantes importados pelas cadeias de vendas e aplicação. A pesquisa avaliou a quantidade e o tipo de produto que podem ser colocados de volta em serviço e concluiu que os contratantes de serviços estão recuperando cerca de 400 MT de produto (CFCs e HCFCs) ao ano de sistemas durante a manutenção.

Refrigerante regenerado refere-se ao refrigerante que foi processado e analisado, confirmando satisfazer especificações semelhantes às especificações do produto recém-fabricados tais como as fornecidas em ARI 700 /ARI700/. Tecnicamente, há muito pouca diferença entre o refrigerante virgem e o regenerado. Uma exceção é o conteúdo permitido de componentes perigosos ou tóxicos específicos que resultam da fabricação ou decomposição de fluorcarbonetos virgens.

O uso de refrigerante regenerado tem a vantagem de evitar possíveis avarias do sistema, como resultado direto de refrigerante contaminado, que pode levar a emissões de refrigerante. Como o refrigerante regenerado atende às especificações de novos produtos, ele muitas vezes tem o apoio de fabricantes de equipamentos que mantêm garantias sobre seus equipamentos. Uma vantagem da regeneração é a que as medições de refrigerantes que foram efetivamente recuperados são facilmente obtidas. No entanto, a regeneração exige uma infraestrutura dispendiosa, que pode se provar viável apenas quando o potencial de retorno financeiro de refrigerante recuperado é suficiente para superar o investimento inicial da empresa que realiza a regeneração.

Refrigerantes mistos, ou seja, refrigerantes que sofrem contaminação cruzada durante o processo de recuperação, são motivo de preocupação devido a seu impacto negativo sobre o desempenho dos sistemas, a possíveis danos ao equipamento se reutilizados em outro sistema e ao alto custo para seu descarte. Essa condição de mistura pode ser causada por reações químicas, como na queima de um motor com compressor hermético, mas mais provavelmente por más práticas de serviço. As seguintes etapas podem ser tomadas para minimizar a probabilidade de mistura de refrigerantes:

1. Limpar adequadamente as unidades de recuperação, incluindo todos os cilindros e mangueiras, de acordo com as sugestões do fabricante ou dedicar uma parte dos equipamentos de recuperação a equipamentos em que se suspeita haver refrigerante misto;
2. Testar e identificar refrigerantes suspeitos (por exemplo, usando um identificador de refrigerante) antes de consolidar em grandes lotes e antes de tentar reciclar ou reutilizar o refrigerante;
3. Manter registros adequados do inventário de refrigerante;
4. Rotular sistemas de refrigeração e equipamentos com a identidade de seus refrigerantes, especialmente depois do *retrofit* de sistemas mais antigos para um novo refrigerante e
5. Marcar os cilindros usados para refrigerantes recuperados e/ou reciclados.

É muito difícil determinar a presença de fluidos refrigerantes mistos sem um teste de laboratório. Se a

natureza do refrigerante é duvidosa, a pressão de saturação e a temperatura podem ser verificadas e comparadas com os valores publicados. No entanto, esse método pode se tornar pouco confiável em função de manômetros imprecisos ou da contaminação por não condensáveis. Uma revisão completa do histórico de manutenção, se existente, e uma compreensão do problema atual podem fornecer informações adicionais. Instrumentos de campo capazes de identificar os refrigerantes R-12, R-22 e R-134a em níveis de pureza de 97% ou melhores estão agora disponíveis.

Em aplicações automotivas, nas quais R-12 e R-134a dominam o mercado, os padrões exigem equipamentos de reciclagem separados. Além disso, foram adotadas portas de serviço de veículos, mangueiras de serviços e ajustes em equipamentos de serviço específicos para prevenir a mistura inadvertida. As mangueiras possuem conectores separados para sistemas de refrigeração com R-12 e R-134a e devem ser devidamente rotuladas /SAE/.

O desenvolvimento e a ampla distribuição de misturas de refrigerantes de substituição aumentaram os riscos de misturas e a complexidade do processo de separação. Atualmente, o alto custo de misturas de refrigerantes limita a rentabilidade da separação.

Os Estados Unidos determinaram que regeneradores de refrigerante devem retornar o refrigerante às especificações (incluindo nível de pureza) descritas na Norma 700 da ARI e verificar as especificações usando o protocolo laboratorial apresentado na mesma norma. Além disso, os regeneradores devem liberar no máximo 1,5% do refrigerante durante o processo de regeneração e devem descartar os resíduos adequadamente. Esse mandato limita o número de pessoas com permissão para regenerar refrigerante e reforça o mandato dos EUA de que refrigerantes usados devem ser regenerados antes da revenda a um novo proprietário.

O Japão informou que 690 toneladas/ano de CFC são recicladas ou regeneradas para reutilização em equipamentos de refrigeração e ar condicionado. Isso representa 56% da quantidade total recuperada estimada de 1.230 toneladas por ano.

O governo dos Estados Unidos determinou a reclamação e certificação de regeneradores de refrigerante desde 1993. Nos EUA, houve um aumento na regeneração de refrigerantes HCFC, mas um declínio na quantidade de refrigerantes CFC regenerados devido à eliminação da fabricação de CFC nos EUA.

Cuidados devem ser tomados para que não ocorra a contaminação cruzada do refrigerante recuperado. Refrigerantes que são combinados após a recuperação, como hidrocarbonetos com refrigerantes CFC, precisam ser separados (normalmente por destilação) antes da regeneração. Os custos elevados e a falta de disponibilidade de instalações de separação desestimulam a correta recuperação de refrigerantes.

11.5.2 Destruição

Nos últimos quatro anos, desde a Avaliação de 2006, aumentou o interesse nos potenciais benefícios ambientais da destruição de bancos de refrigerante ODS. Isso se deve, em parte, ao reconhecimento do benefício ambiental obtido com os possíveis benefícios para o ozônio e para o clima das emissões evitadas de ODSs que ainda permanecem em equipamentos de refrigeração e ar condicionado em todo o mundo. Como resultado desses benefícios, surgiram mercados globais de comércio de carbono que podem fornecer incentivos à aposentadoria antecipada de "bancos" de ODS em equipamentos. Há potencial para que esses equipamentos sejam retirados de uso ou substituídos por equipamentos com maior eficiência energética e menor carga de refrigerante.

Os refrigerantes ODS (especificamente CFCs) têm PAGs elevados além de seus impactos sobre o ozônio. A destruição de bancos de ODS tem o potencial de ganho de créditos de carbono por meio dos mercados globais de carbono, amplamente divididos em mercado de conformidade e mercado voluntário. O mercado de conformidade para GEEs é baseado na exigência legal de que, em nível internacional (ou seja, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo ou MDL) ou em nível nacional e regional (ou seja, Comércio Europeu de Licenças de Emissão do EU ETS), os países e/ou Estados participantes devem demonstrar que possuem o crédito de carbono equivalente à quantidade de GEEs que emitiram, a fim de cumprir com seus compromissos ou metas de redução de GEEs.

Atualmente, o mercado voluntário opera fora do mercado de conformidade, no qual empresas individuais ou organizações se comprometem voluntariamente a ações e projetos para compensar sua emissões de GEEs.⁶

Hoje em dia, apenas o mercado voluntário de carbono tem normas estabelecidas para a destruição de ODSs como projetos de compensação de carbono. Até o momento, existem três normas voluntárias que reconhecem e/ou incluem protocolos de projeto estabelecidos para fornecer créditos de carbono pela destruição de ODSs. Dois tipos de instalação estão disponíveis para a destruição de CFCs:

(1) Instalações públicas ou comerciais estão acessíveis, em troca de pagamento. Essas instalações são muitas vezes capazes de tratar várias famílias de produtos químicos; e

(2) Instalações privadas projetadas para as necessidades internas de fabricantes de ODSs. Essas instalações nem sempre estão adaptadas às necessidades de grupos externos. Condições normais em que recuperação, reciclagem e regeneração sejam predominantes devem levar a solicitações relativamente baixas por destruição na indústria de refrigeração. Isso é especialmente verdadeiro quando a demanda por CFCs permanece alta. A necessidade de instalações de destruição pode ser criada nos casos em que regulamentos proíbam o uso ou a exportação de CFCs.

O método geral de destruição é baseado na incineração de refrigerantes e na fricção de produtos de combustão que contenham ácidos particularmente agressivos, especialmente ácido fluorídrico (HF). Principalmente, sua resistência ao ácido fluorídrico limita o número de incineradores utilizáveis. CFCs, e mais particularmente halons, queimam muito mal. Para serem incinerados, devem ser misturados com os combustíveis em proporções específicas.

Bélgica, Brasil, Finlândia, Japão e Suíça possuem a tecnologia de incineração de forno rotativo para destruir CFCs, halons e HCFCs. Essas instalações de incineração aceitam substâncias para a destruição de outros países. Atualmente, há pouca experiência com a incineração em forno rotativo na América do Norte. Essas instalações têm alto custo de construção, seus custos de manutenção são elevados e a despesa geralmente só se justifica quando uma variedade de resíduos perigosos precisa ser destruída.

A destruição é uma alternativa viável para lidar com bancos indesejados de refrigerantes. Existe atualmente uma falta de empresas disponíveis no mercado para destruir refrigerantes. Conforme os países do Artigo 5 iniciem seus programas de eliminação, oportunidades comerciais para a destruição podem tornar-se disponíveis. Austrália, Estados Unidos e Japão atualmente têm a capacidade de destruir ODSs recuperadas. No entanto, essa tendência parece estar mudando com o aumento do interesse em iniciativas voluntárias e regulatórias de destruição de ODS.

11.6 Design e manutenção de equipamentos

As emissões de refrigerante a partir de sistemas de resfriamento devem ser minimizadas para proteger o ambiente. Felizmente, a conservação é consistente com o bom funcionamento e a eficiência de sistemas de ar condicionado e refrigeração. Os sistemas de refrigeração são projetados como unidades lacradas para proporcionar uma operação de longo prazo. A conservação é afetada pelo *design*, pela instalação e pela manutenção do sistema de refrigeração. Diretrizes e normas estão sendo atualizadas levando em conta questões ambientais e melhorias na conservação.

A conservação é definida por uma taxa de emissão, que pode ser medida e limitada. Fabricantes de sistemas de refrigeração definiram requisitos mínimos de estanqueidade para garantir a operação permanente durante períodos definidos. O "Guia padrão para preparação de uma especificação de teste de vazamento" E 479 da Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM) serve como documento de referência do fabricante. A norma tem uma grande influência sobre o fluxo de vazamento máximo admissível para um sistema de resfriamento com base no período durante o qual o sistema deve operar sem recarga de refrigerante. A quantidade de refrigerante pode ser perdida por

⁶ Nos Estados Unidos, o estado da Califórnia planeja estabelecer um mercado de conformidade que aceite créditos gerados de um mercado de carbono voluntário incluindo créditos por projetos de destruição de ODSs.

vazamentos durante o período sem afetar significativamente a eficiência de funcionamento do sistema.

11.6.1 *Design*

Deve-se fazer todos os esforços possíveis para projetar sistemas estanques, que não terão vazamentos durante a vida útil do equipamento. O potencial de vazamento é afetado primeiramente pelo *design* do sistema e, portanto, os modelos devem enfatizar a minimização das necessidades de manutenção que exijam a abertura do sistema. Os fabricantes selecionam os materiais, as técnicas de junção e as aberturas de serviço. Eles também projetam as peças de reposição e fornecem os procedimentos recomendados de instalação e manutenção. Os fabricantes são responsáveis pela antecipação das condições de campo e pelo fornecimento de equipamentos projetados para essas condições. Supondo que o equipamento seja instalado e mantido de acordo com as recomendações do fabricante, o *design* e a fabricação adequada do sistema de refrigeração determinam a conservação do refrigerante durante a vida útil esperada do equipamento.

Entre as recomendações para a conservação, válvulas à prova de vazamentos devem ser instaladas para permitir a remoção de componentes substituíveis do sistema de resfriamento. O *design* deve também permitir a futura recuperação, por exemplo, pelo posicionamento de válvulas tanto no ponto baixo da instalação quanto em cada vaso para a recuperação eficiente do líquido refrigerante.

11.6.2 Minimização de carga

Minimizar a carga de refrigerante também reduz a quantidade de emissões que poderiam ocorrer durante eventos de vazamento catastrófico. Historicamente, pouca atenção foi dada à carga total do equipamento. Por isso, sua quantidade geralmente não é conhecida (com a exceção de pequenos equipamentos em que as unidades são enviadas já com a carga de refrigerante do fabricante do equipamento original). Deve-se observar que existem efeitos negativos da minimização de carga; por exemplo, o sistema pode ficar mais sensível a um déficit de carga, gerando aumento no consumo de energia. Há um equilíbrio para garantir a boa eficiência apesar de pequenos vazamentos e redução nas emissões diretas.

A sobrecarga de equipamentos é comum, e a quantidade de refrigerante contida em receptores de refrigerante nem sempre é conhecida. Receptores de refrigerante são componentes de equipamentos que contêm excesso de refrigerante que migra pelo sistema como resultado de alterações nas condições ambientes. Para esses equipamentos, a carga em campo é muitas vezes continuada até que o fornecimento do evaporador seja considerado satisfatório. Sem a verificação de pesagem da carga, a instalação pode receber uma carga exagerada, com duas consequências prejudiciais: (1) possível liberação de refrigerante e (2) possibilidade de transferir toda a carga para o receptor. A taxa de preenchimento do receptor, portanto, deve ser limitada durante a operação nominal, e uma ferramenta de inspeção (indicador, nível, etc.) deve ser fornecida.

11.6.3 Instalação

A instalação adequada de sistemas de refrigeração contribui para o funcionamento adequado e para a conservação durante a vida útil do equipamento. Juntas vedadas e materiais de tubulações adequados são necessários. A limpeza adequada das juntas e a evacuação para retirar o ar e não condensáveis minimiza as futuras necessidades de manutenção. Técnicas apropriadas de carregamento e pesagem, juntamente com o desempenho cuidadoso do sistema e controles de vazamento, devem ser postas em prática durante os primeiros dias de operação. O instalador também deve aproveitar a oportunidade para encontrar defeitos de fabricação antes que o sistema comece a funcionar. A instalação é crucial para a conservação máxima ao longo da vida útil do equipamento.

11.6.4 Manutenção

A manutenção deve ser melhorada a fim de reduzir as emissões. Essa melhora, entretanto, depende em parte do preço final que os usuários concordam em pagar, pois a redução de emissões sempre se mostrou, até agora, mais cara do que o preenchimento dos sistemas de refrigeração com refrigerante. É necessário fazer com que os usuários finais entendam que sua prática anterior de pagar pelo preenchimento de sistemas deve cessar e que esses fundos devem ser gastos em melhorias na

manutenção. É necessário notar que esse passo já foi dado em alguns casos, especialmente em países como os EUA, onde anualmente um imposto crescente sobre as quantidades de refrigerantes que destroem a camada de ozônio que permanecem em estoque no final do ano civil torna a conservação ou conversão para alternativas de refrigerante que não destroem o ozônio mais econômicas.

A formação de técnicos é essencial para o manuseio e a conservação de refrigerantes. Essa formação deve incluir informações sobre os perigos ambientais e de segurança de refrigerantes, sobre as técnicas adequadas para recuperação, reciclagem e detecção de vazamentos e sobre a legislação local a respeito da manipulação de refrigerantes (se aplicável).

Os sistemas de refrigeração devem ser testados regularmente para assegurar que estejam bem lacrados, devidamente carregados e funcionando corretamente. O equipamento deve ser verificado a fim de detectar vazamentos a tempo e, assim, evitar a perda de toda a carga. Durante a manutenção e o descarte do sistema, o refrigerante deve ser isolado no sistema ou recuperado.

O técnico deve estudar os registros do serviço para determinar o histórico de vazamentos ou mau funcionamento. O técnico também deve verificar cuidadosamente se há vazamentos e medir parâmetros de desempenho para determinar a condição de operação do sistema de resfriamento. Além disso, deve determinar a melhor localização a partir da qual recuperar o refrigerante e garantir que o equipamento de recuperação e os cilindros de recuperação adequados estejam disponíveis. A existência de um documento de manutenção permite ao usuário monitorar adições e remoções de refrigerante com recuperação, bem como as inspeções e os reparos de vazamentos.

11.6.5 Redução de emissões por estanqueidade

A detecção de vazamentos é um elemento básico na construção e na manutenção de equipamentos de refrigeração, pois torna possível medir e melhorar a conservação de refrigerante. A detecção de vazamentos deve ocorrer ao final da construção pelos fabricantes, ao final da montagem em campo e durante eventos de manutenção regulares do equipamento.

Há três tipos gerais de detecção de vazamentos:

- 1) Métodos globais indicam que existe um vazamento em algum lugar, mas não localiza os vazamentos. Eles são úteis ao final da construção e sempre que o sistema é aberto para reparação ou *retrofit*;
- 2) Métodos locais identificar a localização do vazamento e são os métodos habituais utilizados durante a manutenção;
- 3) Sistemas automatizados de monitoramento de desempenho indicam que existe um vazamento alertando os operadores sobre mudanças no desempenho do equipamento (ver Apêndice 1).

Os governos devem adotar uma abordagem setorial com o objetivo de adotar requisitos de manutenção que reduzam o uso e as emissões de ODS. Os principais setores de refrigeração e ar condicionado incluem:

Os setores de refrigeração incluem:

- Aplicações residenciais – refrigeradores, freezers, condicionadores de ar janela
- Refrigeração comercial – lojas de conveniências, armazéns, supermercados e mercearias
- Refrigeração de grande porte – sistemas de refrigeração de processos industriais usados em uma variedade de aplicações de fabricação e processamento de alimentos
- Refrigeração de transporte – veículos de transporte refrigerados
- Ar condicionado unitário – condicionadores de ar residenciais e comerciais leves e bombas de calor
- Aplicação de resfriamento de resfriadores/conforto – resfriadores
- Ar condicionado móvel

Vários países apresentaram melhora nos equipamentos de ar condicionado e refrigeração fabricados ao longo dos últimos anos. Os novos equipamentos foram projetados para serem mais estanques que os equipamentos de ar condicionado e refrigeração fabricados anteriormente. Os aparelhos existentes muitas vezes foram modificados com novos dispositivos, como dispositivos de purga de alta eficiência para resfriadores de baixa pressão que reduziram significativamente as emissões de refrigerante. Alterações de *design* foram feitas em resposta a crescentes preocupações ambientais, regulatórias e econômicas associadas às emissões de refrigerante.

Por exemplo, uma pesquisa realizada pela EPA dos EUA indica que a redução das taxas de vazamento nos EUA foi mais extrema em resfriadores de arrefecimento de conforto. As taxas de vazamento foram reduzidas de cerca de 10 a 15% ao ano para menos de 5% ao ano, em muitos casos por meio de mudanças de *design*.

Na Holanda, os resultados de alguns projetos de monitoramento anteriores já foram relatados. Esses estudos anteriores envolveram uma grande amostra de unidades de refrigeração de transporte e sistemas de refrigeração comercial. As emissões de refrigerante anteriores foram comparadas ao longo do tempo para unidades construídas antes e depois da introdução do programa holandês de regulamentação. Comparação descobriu que, no caso de sistemas de refrigeração de transporte, a taxa de emissão de refrigerante foi reduzida de uma média de 6% para 3% da carga por ano. Para sistemas comerciais de supermercado selecionados, a taxa de emissão média foi reduzida de 15% da carga de refrigerante para 3% ao ano. Em outro projeto de monitoramento, grandes sistemas de refrigeração (carga média de 2 toneladas métricas) com até 10 anos de idade foram inspecionados nos anos de 1994 a 1996. A taxa média anual de vazamento foi de 8,6%. Informações sobre equipamentos semelhantes, porém mais antigos, construídos ao longo do período de 1986 a 1992, indicam uma taxa média de vazamento de 12,2%. O relatório concluiu que as reduções de perdas de refrigerante experimentada para todos os sistemas de construção mais recente poderia ser atribuída aos requisitos técnicos mais rigorosos especificadas sob os requisitos técnicos do Regeling Lekdichtheidsvoorschriften Koelinstallaties (RLK) de 1994 para equipamentos de refrigeração.

Dados de monitoramento mais recentes foram reunidos a partir do detalhado Levantamento Nacional de Fluxos de Refrigerante NOKS, que foi conduzido pelo governo para investigar os volumes de CFCs, HCFCs e HFCs utilizados em todo o país para fins de recarga em todos os setores de aplicação (exceto ar condicionado de automóveis e instalações marinhas). Ao cruzar esses dados diretamente com as emissões de refrigerante, concluiu-se que a taxa de vazamento média anual para o ano de referência de 1999 foi de 4,8% (equivalente a cerca de 615 toneladas em todo o país). Além disso, o estudo NOKS revelou que as emissões podiam ser atribuídas a apenas 8% das instalações e que 92% não apresentavam emissões naquele ano /IEA02/.

11.7 Regulamentação direta como modo de conservação de refrigerante

As emissões de refrigerante já estão regulamentadas em alguns países, principalmente como componente da implementação da eliminação dos CFCs. Ações governamentais, como a introdução e aplicação de regulamentações ou legislações diretas, são necessárias para garantir a conservação de refrigerantes. Os regulamentos existentes incluem certificação de técnicos de manutenção, manutenção obrigatória de equipamentos e práticas de descarte, requisitos de estanqueidade, restrições sobre as vendas de refrigerantes e sistemas de certificação para empresas de manutenção. Para fins de conservação de refrigerantes, a regulamentação direta pode incluir esforços governamentais que estabelecem o seguinte:

- Práticas obrigatórias de manutenção e descarte para equipamentos de ar condicionado e refrigeração
- Programas de certificação para equipamentos de ar condicionado e refrigeração e equipamentos de recuperação/reciclagem
- Treinamento e/ou programas de certificação de operadores obrigatórios para técnicos de manutenção
- Restrições ou limitações sobre quem pode comprar ou vender refrigerantes ODS

Assim como no caso de incentivos financeiros, deve-se ter cuidado para definir padrões que maximizem a conservação, sem que sejam demasiado pesados. Regulamentos diretos estabelecem padrões “mínimos” e práticas em toda a indústria, e os requisitos de treinamento e/ou certificação aumentam o

conhecimento geral de como e por que conter o refrigerante. No entanto, esses regulamentos são muitas vezes menos flexíveis do que incentivos financeiros e mais difíceis de desenvolver e aplicar, dadas as grandes quantidades e a ampla distribuição dos equipamentos de ar condicionado e refrigeração.

Os países do Artigo 2 tomaram uma série de medidas destinadas a reduzir as emissões de fluidos refrigerantes ODS por meio de regulamentação direta. Alguns regulamentos incluem a restrição do fornecimento de refrigerantes por meio de limites para importações e vendas. Além dos requisitos de práticas de redução de emissões durante a manutenção e o descarte dos aparelhos, determinam a recuperação, reciclagem e regeneração de refrigerantes usados.

Essas restrições também podem ter impactos negativos, tais como a criação de mercados ilegais para refrigerantes, práticas comerciais fraudulentas por empresas de manutenção, distribuidores de refrigerante e recicladores de aparelhos. O impacto financeiro da aplicação desses regulamentos apresenta outro possível impacto negativo. Esses regulamentos não devem ser tentados a menos que o órgão governamental esteja disposto a investir na aplicação de longo prazo dos regulamentos e em processos judiciais rigorosos para aqueles que violam o regulamento.

Países com mercados estabelecidos têm programas e políticas nacionais semelhantes em vigor para a recuperação, reciclagem e regeneração de refrigerantes, mas abordagens individuais à organização e mecanismos de controle, níveis de responsabilidade, legislação regulamentar, arranjos de financiamento e procedimentos operacionais variam consideravelmente de um país para outro.

Além de eliminação da produção de ODS em conformidade com o Protocolo de Montreal, os governos optaram por reduzir a destruição do ozônio por meio de forte incentivo à conservação de diferentes maneiras. Nos primeiros anos, programas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) foram financiados para identificar fontes de emissão e desenvolver medidas de conservação. Outros programas de P&D foram desenvolvidos para avaliar a recuperação, reciclagem e regeneração eficiente de equipamentos. Os governos também trabalharam com grupos da indústria para desenvolver técnicas de recuperação e estabelecer normas para a recuperação e reutilização de refrigerantes que destroem a camada de ozônio.

A disseminação de informações foi outro meio utilizado para educar o público sobre as questões ambientais, de saúde e de segurança associadas à destruição do ozônio. Esses esforços criaram um conhecimento geral de como e por que devem ser tomadas medidas para conter refrigerante usado. Assim, esses esforços melhoraram a conservação nos lugares onde a ignorância das questões ambientais era o principal problema.

A regulamentação direta também se tornou um ponto de ênfase para os governos. Muitos governos melhoraram a conservação através da regulamentação direta. Os governos descobriram que a adoção de padrões da indústria e os resultados de P&D são facilmente incorporados ao regulamento como meio de tornar obrigatória a conservação de refrigerante. Embora os governos tenham encontrado na regulamentação direta um meio bem-sucedido de conservação, ela exige um forte compromisso com incentivos de aplicação legais ou financeiros para alcançar resultados significativos.

11.7.1 Incentivos financeiros

Os incentivos financeiros podem encorajar a conservação, tornando as emissões mais caras para os usuários ou tornando os esforços de conservação financeiramente benéficos. Eles podem incluir impostos sobre vendas de refrigerantes no momento da venda ou da importação através da fronteira do país, sistemas de reembolso de depósito para desencorajar o descarte dos recipientes de refrigerantes e/ou a isenção de impostos para investimentos na recuperação/reciclagem de equipamentos ou em outras tecnologias de conservação de refrigerante.

Nos EUA, a fabricação ou importação de CFCs virgens é proibida. Além disso, os EUA anualmente aumentam o imposto sobre o consumo de CFC, que tem sido eficaz no aumento da conservação de refrigerantes CFCs e em tornar os *retrofits* para substâncias com menor potencial de destruição da camada de ozônio financeiramente mais atraentes. O imposto, quando combinado com a eliminação da produção de CFCs, forçou um aumento na reciclagem e reutilização de refrigerantes CFC usados. Esse aumento na reciclagem e reutilização de refrigerante usado tratou de uma fonte significativa de emissões, aumentando os custos de CFCs importados e, assim, tornando os custos de reutilizar CFCs ou de adaptar equipamentos para refrigerantes com menores potenciais de destruição do ozônio menores do que os

custos de comprar e usar CFCs importados.

Esquemas de reembolso de depósito envolvem a coleta de um depósito quando um produto é comprado e o pagamento de um reembolso quando o produto usado é devolvido. A restituição serve como incentivo para que o usuário colete e devolva refrigerantes usados. O depósito não só financia as restituições, mas também incentiva a manipulação mais cuidadosa do produto, aumentando o custo de novos refrigerantes. Duas questões devem ser tratadas no estabelecimento de um sistema de reembolso de depósito: (1) como (ou se) refrigerantes são rastreados até o fabricante original para a coleta do reembolso e (2) como os reembolsos para o banco de refrigerantes de equipamentos existentes, para os quais um depósito não foi recolhido, podem ser financiados. Esquemas de reembolso de depósito financiados pela indústria na Austrália, na Dinamarca e na França resolveram esses problemas através da criação de um fundo centralizado para depósitos.

Incentivos fiscais para investir em equipamentos e tecnologias de conservação de refrigerantes são outros meios pelos quais o governo pode estimular a conservação. Como os benefícios fiscais ligados a tecnologias específicas têm o potencial de limitar a tecnologia que entra nesse mercado, eles podem deixar o mercado menos flexível do que impostos sobre vendas ou esquemas de reembolso de depósito. Cuidados devem ser tomados para definir impostos, incentivos fiscais e montantes de depósito e reembolso em níveis que maximizem a conservação, sem serem demasiado pesados. Além disso, os governos que utilizam incentivos financeiros devem trabalhar para evitar o surgimento de um mercado negro para refrigerante não tributado, e, portanto, mais barato. Se nada for feito, esse mercado acabará por minar os benefícios ambientais implementados pelo incentivo. A fim de limitar a extensão das vendas no mercado negro, esforços fiscais não deve ser utilizados sem um forte componente de aplicação com o poder de multar ou prender os infratores.

Os governos podem achar que os incentivos financeiros são mais fáceis e mais flexíveis de desenvolver que os regulamentos diretos. Os incentivos financeiros permitem que os mercados encontrem as medidas de conservação com melhor relação custo-benefício e mantenham o incentivo para a inovação. Além disso, incentivos financeiros governamentais se tornam mais importantes conforme caem os preços do refrigerante. Tal é o caso dos HCFCs e HFCs em muitos países do Artigo 2 e dos CFCs em muitos países do Artigo 5, porque o aumento dos preços do refrigerante tende a encorajar a conservação, enquanto os preços mais baixos tendem a desencorajá-la. No entanto, pode ser difícil de estabelecer incentivos financeiros em um nível que incentive a conservação, sem ser demasiado pesados. Os incentivos financeiros serão minados se for permitida a operação de um mercado negro para refrigerantes importados.

11.7.2 Práticas de manutenção obrigatória e estanqueidade

No Regulamento nº. 2037/2000 do Conselho Europeu (CE) sobre substâncias que destroem a camada de ozônio /EC00/, o CE exige que todas as medidas cautelares viáveis sejam tomadas para evitar vazamentos de CFCs e HCFCs. No entanto, os Estados membros podem definir os próprios requisitos mínimos de qualificação para os profissionais de manutenção envolvidos. Uma inspeção anual de estanqueidade é obrigatória para instalações que contêm CFCs ou HCFCs. Três programas nacionais são resumidos a seguir, mas também existem regulamentações em outros países europeus como Dinamarca, Alemanha e Suécia.

A Holanda descreveu as condições para a estanqueidade dos sistemas em um decreto de 18 de dezembro de 1994 /DR94/. O texto caracteriza-se por requisitos pormenorizados para materiais e componentes, *design*, instalação, salas de máquinas, testes e manutenção, inspeção. Contém requisitos que tratam de manutenção, controles de estanqueidade e inspeção da instalação, dependendo da carga de refrigerante. A ocorrência do teste de estanqueidade também é especificada: uma vez ao ano para cargas menores que 3 kg, uma vez a cada 3 meses para mais de 30 kg, uma vez ao mês para mais de 300 kg. As salas de máquinas são obrigatórias para cargas de mais de 300 kg e um monitor de área é necessário quando a carga é maior que 1.000 kg. Há especificações para a sensibilidade do monitor de área (100 ppm), o número mínimo de sondas (5) e a instalação das sondas (pelo menos uma ao nível do chão, pelo menos uma no duto de ventilação). Operadores certificados equipados com detectores de vazamentos de sensibilidade de 5 ppm realizam os testes de estanqueidade de vazamentos. Antes da ativação de novas instalações ou da troca de refrigerante, um teste de estanqueidade deve ser realizado à pressão de trabalho máxima do equipamento.

A Lei de Proteção Ambiental do Reino Unido de 1990 estabelece diversas medidas para a conservação de refrigerantes CFC, HCFC e HFC. Estas incluem a proibição da liberação de refrigerante durante a manutenção ou o desmantelamento dos sistemas, a proibição da adição de refrigerante em um sistema com vazamento antes de análise exaustiva do sistema para localizar e reparar o vazamento, a exigência de utilizar uma bomba de vácuo para evacuar a umidade e não condensáveis de um sistema antes de se adicionar refrigerante, a obrigação de utilizar uma unidade de purga refrigerada (em vez da purga manual) para purgar não condensáveis do sistema e um requisito geral que limita as emissões durante diversos procedimentos de manutenção e operação do sistema.

As alterações de 1990 na Lei do Ar Puro exigem consertos de vazamentos. Nos EUA, as emissões de refrigerantes são controladas por regulamentos diretos que exigem recuperação, reciclagem e regeneração. Os EUA também criaram regras exigindo o reparo de equipamentos que vazam acima das taxas permitidas. Regulamentos dos EUA exigem que os fabricantes de aparelhos ofereçam uma abertura de serviço para acelerar a recuperação do refrigerante. Quanto à manutenção, antes de reparar ou descartar equipamentos de ar condicionado e refrigeração, os técnicos devem recuperar o refrigerante usando equipamentos de recuperação de refrigerante aprovados pelo governo. A percentagem de refrigerante que deve ser recuperada ou o nível de evacuação que deve ser alcançado varia dependendo do tipo de equipamento em manutenção. Para o reparo de vazamentos, as normas dos EUA exigem que os proprietários dos equipamentos com cargas de mais de 50 quilos consertem, realizem *retrofit* ou substituam equipamentos de refrigeração e ar condicionado quando tiverem vazamentos que excedam uma taxa máxima aplicável permitida. Essas taxas máximas anuais permitidas são de 35% da carga para refrigeração comercial e industrial e aplicações de ar condicionado e 15% para outras aplicações. Para monitorar as taxas de vazamento, os proprietários de equipamentos de ar condicionado e refrigeração com mais de 50 libras de carga devem manter registros da quantidade de refrigerante adicionado a seus equipamentos durante os procedimentos de manutenção e reparação.

11.7.3 Restrições sobre as vendas e importações de ODSs

Os EUA limitaram as vendas de refrigerante para técnicos certificados a fim de melhorar o nível de conscientização contra as emissões de refrigerante. Além dessa restrição de vendas, o governo impôs condições para os fabricantes de refrigerantes de substituição. Novos refrigerantes não ODS, que substituem os CFCs, devem ser autorizadas para setores da indústria e usos finais específicos. O governo também exige que os fabricantes de refrigerantes novos coloquem peças exclusivas nos recipientes para evitar a mistura acidental de refrigerantes diferentes e emissões subsequentes resultantes das misturas.

Os Estados Unidos também limitam a quantidade de ODSs importadas para o país. Apenas ODSs usadas da classe I (principalmente CFCs, halons e brometo de metila) podem ser importadas para os Estados Unidos. Os EUA proibiram a importação de ODS virgem, com a exceção de usos essenciais pré-aprovados. Potenciais importadores devem solicitar aprovação da EPA dos EUA antes do transporte do país de origem.

Vários países implementaram normas que exigem que funcionários aduaneiros participem de programas de formação sobre ODSs. O treinamento dos funcionários aduaneiros sobre métodos de detecção e identificação ajuda a controlar o comércio de substâncias destruidoras de ozônio. Por exemplo, a República Democrática do Congo e a Jordânia recentemente tomaram medidas significativas para acelerar a eliminação das substâncias que destroem a camada de ozônio. Esses países exigem agora programas de treinamento para funcionários aduaneiros e para técnicos que manipulam o refrigerante. Outros países, como Omã, fornecem oficinas de capacitação para agentes aduaneiros, a fim de elevar o nível de conscientização sobre os perigos das ODSs e sobre os métodos de conservação de refrigerante.

O treinamento dos funcionários aduaneiros e a identificação de refrigerantes são considerados como a parte mais importante do programa de eliminação de CFCs dos países da Europa Oriental, do Cáucaso e da Ásia Central. Por exemplo, 115 funcionários aduaneiros foram treinados e equipados com o Identificador de Refrigerante Última na Armênia. Na República do Tajiquistão, 98 funcionários aduaneiros foram treinados para a detecção e identificação de métodos e 30 pontos de verificação foram equipados com o identificador RI-2002PA da Neutronics. Os números para o Uzbequistão são 301 agentes aduaneiros treinados e 21 unidades do identificador portátil ID 1000 usadas no país. Na República da Geórgia, um laboratório especial equipado com cromatógrafo a gás completo e analisador de refrigerante Tasco TA400 ajuda agentes aduaneiros a identificar CFCs, HCFCs, HFCs e uma grande

variedade de suas misturas.

Restrições também são impostas a novas misturas de refrigerantes, que devem ser autorizadas pela EPA dos EUA antes da introdução no comércio interestadual. Os fabricantes das misturas de refrigerante que devem substituir ODSs devem apresentar dados à EPA sobre a saúde e a segurança de tais substitutos antes que eles possam ser vendidos legalmente nos EUA.

11.8 Fim de vida

Requisitos de eliminação segura devem exigir o descarte de componentes ODS em aparelhos residenciais, como refrigerantes e espumas. Muitos refrigeradores e freezers domésticos produzidos antes de 1994 usam fluidos refrigerantes CFC que destroem a camada de ozônio que protege a Terra, causando efeitos adversos à saúde humana e ambiental (ver caixa de texto). Após 1996, a maioria dos refrigeradores e freezers domésticos fabricados passaram a usar refrigerantes de hidrocarbono ou refrigerantes que não agredem a camada de ozônio (HFCs). Da mesma forma, o óleo do compressor pode ser contaminado por refrigerante, seja CFC ou HFC, de modo que também deve ser cuidadosamente tratado. Além disso, os agentes de expansão de espumas mais usados em refrigeradores/ freezers também utilizam substâncias que destroem o ozônio. Em última análise, se essas espumas não forem devidamente recuperadas de aparelhos e descartadas de maneira apropriada, mais ODSs serão liberadas para a atmosfera, levando a uma maior destruição da camada de ozônio. Alguns dos novos refrigeradores/freezers usam agente de expansão HFC, que pode levar a emissões de gases de efeito estufa se não for devidamente recuperado no fim de vida. Além disso, as matérias-primas de refrigeradores e freezers – incluindo aço, plástico, vidro e borracha – podem ser recicladas para reduzir a quantidade de resíduos que seriam colocados em aterro e para poupar energia que seria necessária para produzir materiais virgens. Por fim, alguns freezers horizontais fabricados antes de 2000 podem conter um interruptor de mercúrio. O mercúrio é tóxico e causa uma variedade de efeitos adversos à saúde, incluindo tremores, dores de cabeça, insuficiência respiratória, anomalias reprodutivas e de desenvolvimento e, potencialmente, câncer. Além disso, os aparelhos mais antigos podem conter capacitores PCB. PCBs podem levar a efeitos adversos que vão desde pequenas irritações da pele e anomalias reprodutivas e de desenvolvimento até cânceres em humanos e animais selvagens.

Esforços devem ser feitos para garantir que as empresas envolvidas na cadeia de descarte não tenham autorização para destruir.

11.9 Exemplos de abordagens de conservação

11.9.1 África

O setor de refrigeração e ar condicionado desempenha um papel vital em muitas economias africanas. Os setores predominantes nessas economias são agricultura, turismo e indústria pesqueira. Como resultado, a refrigeração é necessária para preservar alimentos perecíveis exportados para o exterior e necessários para o consumo local. Da mesma forma, a indústria do turismo aumenta a demanda por ar condicionado, uma vez que os turistas preferem ambientes confortáveis.

Houve uma redução razoável no consumo de ODS na maioria dos países africanos. Alguns países adotaram medidas para estabelecer uma proibição parcial ou total das vendas de CFCs. Outros aprovaram regulamentos para controlar as importações de novos CFCs e de equipamentos com CFCs. É óbvio que os equipamentos de refrigeração existentes precisarão de reparos e manutenção por muitos anos. No entanto, não há formação suficiente de técnicos de refrigeração. Na África, um programa educacional bem desenvolvido para técnicos é inexistente. Assim, aqueles que trabalham na indústria de refrigeração não recebem instrução adequada necessária para cumprir com as normas. Exemplos de outros países demonstram que técnicos bem treinados podem reduzir o consumo de CFCs no setor de refrigeração em até 40%. O outro grande problema para a África em sua tentativa de eliminar os CFCs é o afluxo de equipamentos de refrigeração usados e CFCs baratos, alguns dos quais são obtidos no mercado negro.

Muitos países, entre os quais estão Benin, Chade, Egito, Moçambique, Uganda e Zimbábue, criaram programas de recuperação e reciclagem de refrigerante que formam técnicos e disponibilizam equipamentos de recuperação de refrigerante e equipamentos de manutenção. Esses programas nacionais são responsáveis pela eliminação de toneladas de CFCs (ponderados por ODP) provenientes de fontes

estacionárias e móveis.

O Quênia, por exemplo, proibiu a manutenção de equipamentos de refrigeração e ar condicionado por qualquer outra pessoa além de técnicos de manutenção certificados pelo governo. O governo também estabeleceu estações centralizadas de reciclagem de refrigerante. O governo promoveu a disponibilidade de unidades de recuperação de refrigerante portáteis com custos baixos para técnicos de manutenção. As unidades de recuperação de refrigerante foram doadas para as oficinas selecionadas com técnicos treinados na equipe. O governo reserva-se o direito de reaver o equipamento e banir os técnicos do mercado se for verificado que boas práticas de serviço não são aplicadas.

Gana ratificou o Protocolo de Montreal em 24 de julho de 1992. Um Programa Nacional foi apresentado na 8ª. Reunião do Comitê Executivo em outubro do mesmo ano. A 8ª. Reunião do Comitê Executivo havia aprovado US\$ 328.000 para um programa de melhoria nos serviços e manutenção do setor de refrigeração. O programa de Gana procurou estabelecer um Comitê Nacional de Melhores Práticas de Refrigeração, assistência técnica e fornecimento de máquinas de recuperação e reciclagem, com implementação do PNUD. As estatísticas do PGR de Gana indicam que o maior consumidor de CFCs no país é o setor doméstico. O número estimado de refrigeradores domésticos era de 1 milhão em 2000, tendo aumentado em 30-40% em 2003. O consumo total de CFCs para a reparação e manutenção de refrigeradores domésticos equivale a cerca de 20 toneladas por ano.

Em 1996, 3.000 técnicos treinados já haviam recebido formação a respeito de boas práticas. Outros 600 técnicos foram receberem treinamento sobre entrega segura e *retrofit* para o uso de hidrocarbonetos. No entanto, a certificação de técnicos não é obrigatória em Gana para a prática de atividades de recuperação e reciclagem. Os equipamentos de recuperação fornecidos no âmbito do PGR foram atribuídos a oficinas de acordo com a localização, segurança e quantidade de refrigeração utilizada. Para melhorar os esforços de recuperação, o PGR elaborou um programa de incentivo para estimular usuários finais de refrigeração a substituir ou permanentemente modificar seus equipamentos baseados em ODS. Em Gana, os hidrocarbonetos são significativamente mais baratos do que os CFCs e os HCFCs, uma vez que os hidrocarbonetos são produzidos em Gana e também importados do Líbano. Tendo em vista as condições econômicas, a predominância do setor doméstico, a taxa de sucata de aparelhos insignificante e a idade avançada de veículos importados e de outros equipamentos de refrigeração, a eliminação das ODS constitui uma tarefa bastante difícil.

O Senegal ratificou o Protocolo de Montreal em maio de 1993, juntamente com a Emenda de Londres; a Emenda de Copenhague e a Emenda de Montreal foram ratificadas em agosto de 1999. Para ajudar o Senegal, o PNUMA forneceu treinamento para formadores sobre boas práticas de refrigeração, seguido da formação de técnicos por esses formadores no âmbito de um projeto aprovado pela 11ª. Reunião do Comitê Executivo. Desde 2001, um Plano de Gerenciamento de Refrigeração (PGR) foi implementado com o apoio da UNIDO, da Suíça e do PNUMA.

Os demais usuários de CFCs no Senegal são empresas privadas que prestam serviços para sistemas de refrigeração doméstica, comercial e industrial. A maior barreira ao *retrofit* ainda é o clima úmido do Senegal. A natureza higroscópica do óleo de éster, além de seu preço elevado, faz com que seja difícil impedir que a umidade entre no sistema, resultando em corrosão e problemas de entupimento.

Sob um programa de formação implementado pelo PNUMA, um total de 140 técnicos foram treinados em quatro oficinas, abordando problemas como esse. As práticas padrão anteriores, como *flushing* com CFC, foram substituídas pelo uso de nitrogênio ou ar comprimido. A carga de refrigerantes agora é medida com *manifolds* e as juntas brasadas agora são mais comuns que o uso de mangueiras, reduzindo assim a probabilidade de vazamentos. Além disso, um total de 40 unidades de recuperação foi disponibilizadas, além de detectores de vazamento, bombas de vácuo, cilindros vazios, balanças, coletores e outras ferramentas, fornecidas através da UNIDO.

O CFC-12 ainda é relativamente barato, representando uma grande ameaça ao controle regulatório efetivo. O aumento do contrabando ilegal de CFCs, originários do Leste Europeu, continua a ocorrer. Por isso, o treinamento contínuo dos funcionários aduaneiros é necessário.

A maioria dos países estabeleceu programas nacionais para recuperar e reutilizar refrigerantes. Embora haja um grande potencial para a recuperação e reciclagem de CFCs em países africanos com baixo volume de consumo, o baixo preço do refrigerante virgem diminuiu o incentivo para a recuperação de

refrigerante. Há também uma escassez de equipamentos de recuperação e reciclagem, pois o custo é considerado muito caro para a maioria das oficinas comuns. Espera-se que legislação, regulamentos e esquemas de recuperação e reciclagem adequados que estão em desenvolvimento criem os incentivos necessários para a reciclagem.

11.9.2 América do Sul

O governo brasileiro estabeleceu um programa de conservação de refrigerantes que proibiu o uso de cilindros de refrigerante descartáveis. A Associação Brasileira de Equipamentos Domésticos e Comerciais já certificou cerca de 1.500 oficinas, empregando cerca de 3.000 técnicos de manutenção. Estima-se que essas lojas certificadas reciclem cerca de 3,5 MT de CFC-12 por mês provenientes do setor de refrigeração doméstica e ar condicionado.

Por meio de um Plano Nacional de Eliminação de CFCs, aprovado em julho de 2002 pelo Fundo Multilateral, o governo brasileiro planeja estabelecer oito centros de recuperação de refrigerante nos próximos dois anos. Em algumas regiões do país, as atividades de reciclagem e recuperação já começaram antes da plena implementação do Plano Nacional de Eliminação de CFCs. O plano nacional prevê a formação de 35.000 técnicos de refrigeração e a distribuição de equipamentos de recuperação de refrigerante para os técnicos. O plano nacional inclui esforços para estabelecer um programa de recuperação de CFC em conjunto com a instalação dos centros de regeneração de refrigerante. Além disso, o Brasil tem uma instalação de destruição que aceita refrigerante contaminado para incineração por forno rotativo.

A Colômbia ratificou a Convenção de Viena em 1990, o Protocolo de Montreal e sua Emenda de Londres em 1993, a Emenda de Copenhague em 1997, a Emenda de Montreal em 2003 e a Emenda de Pequim em 2005.

Na Colômbia, 81% do consumo total de CFC pode ser atribuído à manutenção de sistemas de refrigeração domésticos, industriais e comerciais. Com o auxílio dos projetos de conversão financiados pelo FML, o número de unidades de refrigeração comercial baseadas em CFCs deve ser reduzido para cerca de 850.000 até 2007. Os preços dos CFC continuam altos na Colômbia, mas os preços das alternativas são significativamente mais altos. O processo de eliminação das ODSs na Colômbia consistiu em uma abordagem de projeto a projeto, concentrada nos grandes consumidores de CFCs, como fabricantes de equipamentos residenciais e comerciais, em projetos de conversão em unidades de refrigeração comercial de pequeno porte, na finalização de projetos nos setores de espuma e refrigeração e no início da implementação do Plano Nacional de Eliminação (PNE). O total de recursos desembolsados pelo FML para esses projetos de 1994 a 2004 (sem incluir fundos para a implementação do PNE) foi de US\$ 1.112 milhões. Como resultado, 1.053 toneladas de ODP foram eliminadas. Programas no âmbito do PNE foram planejados para recuperar 123,75 toneladas de ODP por ano, presumindo que grande parte desse montante seria reciclada. As quantidades reais recuperadas durante 1998-1999 foram 41,9 toneladas de ODP e 3,5 toneladas foram recicladas. Impedimentos significativos ao programa PNE afetaram seu grau de sucesso. O baixo preço do refrigerante virgem em comparação com os custos de substâncias recuperadas significou que, nem para os usuários finais, nem para as oficinas de manutenção, havia um incentivo econômico para a recuperação e reciclagem de refrigerante. Em segundo lugar, o equipamento distribuído no âmbito desse projeto foi limitado à recuperação de CFC-12 e o tipo das máquinas escolhidas não levou em conta a diversidade de usos necessária e as diferentes necessidades dos técnicos.

11.9.3 China

Em 2002, a China consumiu 75% da cota de CFCs do leste asiático e produziu quase 100% da cota regional. Em janeiro de 2003, a produção de CFC na China tinha sido reduzida em 40% e 32 usinas foram fechadas e desmontadas.

Em 1992, a Agência Estatal de Proteção do Meio Ambiente da China (SEPA) estabeleceu um programa para o setor de ar condicionado de veículos automotores. O programa define políticas e regulamentos nacionais, incluindo a proibição de novos sistemas MAC baseados em CFC, em todos os veículos novos a partir de 01 de janeiro de 2002, um programa de assistência técnica para o desenvolvimento de normas de manutenção e reciclagem de refrigerantes, o estabelecimento de instalações de teste para componentes e sistemas de ar condicionado de veículos automotores e um novo sistema de certificação e treinamento

para a indústria de ar condicionado automotivo.

A China está em busca de incentivos financeiros, como redução de impostos, para a conservação de refrigerantes. Além disso, o governo está explorando opções para a aplicação de regulamentações da Agência Estatal de Proteção Ambiental (SEPA). A Associação Chinesa da Indústria de Refrigeração e Ar Condicionado estabeleceu a norma: CRAA100-2006 (especificações para refrigerantes fluorcarbonetos). A norma se aplica a refrigerantes novos e regenerados e não é aplicável somente a refrigerantes reciclados.

11.9.4 Estados Unidos

Os Estados Unidos apresentaram aumento no grau de sensibilização da comunidade e a implementação de muitos regulamentos que restringem o uso de CFCs. Atualmente, existem normas que exigem a certificação de técnicos, restrição sobre vendas, requisitos de reciclagem e manutenção obrigatórias e requisitos de descarte seguro. Procedimentos de *retrofit* adequados para a substituição de CFCs por outras substâncias foram criados e distribuídos para fabricantes de produtos químicos e equipamentos. Os EUA reconheceram um obstáculo em seus esforços de conservação. Embora os EUA proíbam a importação de ODSs virgens, o país permite que CFCs usados sejam importados, mediante aprovação do governo. Tais esforços estenderam o tempo de vida de equipamentos com CFC e permitiram que os proprietários de equipamentos adiem sua retirada de uso.

11.9.5 Japão

A lei de reciclagem completou seu primeiro ano desde o início de sua aplicação em abril de 2001, com bons resultados na recuperação de refrigerantes CFC e HCFC de condicionadores de ar e refrigeradores residenciais – 603 toneladas de refrigerantes CFC e HCFC (467 de condicionadores de ar e 136 de refrigeradores) foram extraídas e destruídas em 2001. A quantidade continuou a crescer, chegando a 1.306 toneladas métricas (995 de condicionadores de ar residenciais e 311 de refrigeradores domésticos) em 2004. A recuperação de refrigerantes de isolantes utilizados em refrigeradores começou em 2004. Em uma ação para acelerar a reciclagem, o gabinete japonês aprovou um projeto de lei complementar, exigindo que os fabricantes e importadores de automóveis aceitassem carros usados para reciclagem de diferentes peças com CFCs. A lei entrou em vigor em 2003 e acrescentou uma taxa de reciclagem para o consumidor ao preço de cada carro novo vendido no Japão.

Com o objetivo de elevar a taxa de recuperação de refrigerantes de equipamentos comerciais, a Lei de Recuperação e Destruição de Fluorcarbonos foi alterada para vigorar a partir de outubro de 2006. Com essa lei, a recuperação de refrigerante de equipamentos de ar condicionado e refrigeração comercial deve chegar a um nível mais elevado do que nunca.

11.10 Problemas em países do Artigo 5

Embora a grande variedade de condições em países do Artigo 5 torne a generalização difícil, algumas características comuns às infraestruturas de refrigeração distinguem os países do Artigo 5 dos países desenvolvidos. Essas características tornam recomendável a adoção de estratégias um pouco diferentes para a contenção e conservação de refrigerantes em países do Artigo 5 em relação àquelas utilizadas em países desenvolvidos. Entre essas características encontram-se:

- *A situação ambígua no mercado de refrigerantes CFC.* Os CFCs permanecem relativamente baratos na maioria dos países do Artigo 5. Na verdade, os refrigerantes CFC parecem estar mais baratos do que nunca em alguns países do Artigo 5. Por outro lado, há países do Artigo 5 onde CFCs estão praticamente indisponíveis ou são muito caros. No entanto, os CFCs são muitas vezes substituídos por refrigerantes falsificados baratos que estragam os sistemas de resfriamento e, conseqüentemente, causam aumento nas emissões. Isso diminui os incentivos econômicos para a conservação de refrigerantes CFC. Para ter sucesso, as abordagens de conservação devem fazer uso eficiente do tempo dos técnicos e dos equipamentos ou devem ser apoiadas por incentivos governamentais confiáveis e/ou penalidades.

- *O custo relativamente baixo da mão-de-obra em comparação com o do equipamento de recuperação.*

Baixos custos de mão-de-obra podem favorecer abordagens de conservação que são um pouco mais trabalhosas do que as historicamente preferidas nos países desenvolvidos. No entanto, a formação e conscientização dos técnicos é essencial para o sucesso dessas abordagens, especialmente quando os procedimentos de manutenção preventiva não eram rotina no passado. Além disso, incentivos significativos ainda são necessários para a conservação de refrigerante por causa do baixo custo de CFCs.

- *Infraestruturas deficientes para a regeneração de refrigerantes.* Uma infraestrutura bem desenvolvida para a regeneração de refrigerante exige um grande número de recipientes reutilizáveis para refrigerante, centros de purificação de refrigerante, sistema de rastreamento para refrigerantes devolvidos e um meio de descarte de refrigerantes irremediavelmente contaminados. A quantidade de refrigerante a ser recuperada em países que utilizam pequenas quantidades de refrigerante provavelmente não justificaria a operação de um centro de regeneração centralizado. Para garantir que o refrigerante seja adequadamente limpo antes de ser reutilizado, os países em desenvolvimento podem dedicar recursos para o desenvolvimento de uma infraestrutura de regeneração ou enfatizar reciclagem de refrigerante no local. Se escolherem a segunda opção, testes de triagem podem ser utilizados para identificar refrigerantes severamente contaminados para destruição. Devido à natureza descentralizada da reciclagem no local, seu sucesso (tanto em termos de quantidade quanto de qualidade do refrigerante reciclado) é mais difícil de avaliar do que o da regeneração. Quando as instalações de regeneração não estão disponíveis, uma alternativa pode ser a destruição em incineradores.

- *Falta de manutenção programada.* No passado, para muitos países do Artigo 5, a manutenção programada de rotina de equipamentos de ar condicionado e refrigeração era rara. Para implementar com sucesso abordagens de conservação, que dependem fortemente de manutenção regular, os países devem oferecer incentivos para a manutenção programada de rotina.

- *Energia, peças e suprimentos pouco confiáveis.* Em muitos países do Artigo 5, flutuações de tensão frequentes aumentam a ocorrência de queimas de compressor, que agravam os problemas de contaminação de refrigerante e desestimulam a reciclagem de refrigerante. As mesmas flutuações de tensão podem também danificar o equipamento elétrico de recuperação. Isso, associado à disponibilidade limitada de peças de substituição, pode tornar difícil manter esses equipamentos em funcionamento. A experiência recente mostra a necessidade de adaptar o equipamento de recuperação às necessidades dos países do Artigo 5 (tais como condições climáticas extremas, falta de peças de reposição e maior fragilidade dos dispositivos elétricos).

Juntas, essas características têm certas implicações para programas de conservação de refrigerante nos países do Artigo 5. Como a capacidade de recuperar grandes quantidades de refrigerante em uma quantidade relativamente pequena de tempo aumenta a relação custo-benefício da recuperação, os programas de recuperação podem ser mais eficazes se concentrados em equipamentos com tamanhos de carga grandes (por exemplo, resfriadores ou grandes sistemas de refrigeração comercial) ou em grandes grupos de equipamentos com tamanhos de carga pequenos (por exemplo, ar condicionado de veículos automotores).

Para outros sistemas, como aqueles com pequena dimensão e propriedade dispersa (por exemplo, refrigeradores domésticos e pequenos refrigeradores comerciais), a experiência indica que o *retrofit* e a recuperação são mais difíceis de implementar e que a conservação deve ser priorizada.

Além de impor medidas de conservação para peças individuais de equipamentos, os países podem reduzir as emissões de refrigerantes CFC reduzindo o estoque total de equipamentos que contenham CFCs. Isso pode ser obtido pela escolha de sistemas que usam HCFCs ou refrigerantes que não destroem a camada de ozônio ao instalar novos equipamentos ou pelo *retrofit* de sistemas existentes para o uso de refrigerantes HCFC ou não ODS. A alta taxa de crescimento nos países do Artigo 5 torna a escolha de novos equipamentos especialmente importante. *Retrofits* que exigem muitas horas de trabalho podem ser atraentes em alguns países do Artigo 5, devido ao custo relativamente baixo da mão-de-obra. É importante notar que a substituição ou o *retrofit* de equipamentos irá aumentar, em vez de reduzir, as emissões de CFC se o refrigerante CFC do equipamento antigo for liberado em vez de recuperado. Isso enfatiza o fato de que, para qualquer refrigerante, o primeiro passo a tomar para a conservação é a melhoria da estanqueidade dos sistemas.

Não faltam dispositivos de detecção de vazamentos, métodos de conservação ou equipamentos de recuperação/reciclagem disponíveis em países desenvolvidos /UNE94, 95/. Contudo, o fornecimento

desses equipamentos não irá, por si só, garantir que a conservação do refrigerante ocorra nos países do Artigo 5. A experiência mostra que, a fim de serem eficazes, os programas de conservação devem conciliar equipamentos com formação e incentivos para o uso do equipamento. Esses incentivos podem ser financeiros (por exemplo, sistemas de reembolso de depósito semelhantes aos usados na Austrália e na França), profissionais (trabalhando com o orgulho dos técnicos da obtenção de qualificação por meio de treinamentos e do uso dos mais avançados equipamentos e técnicas) ou ambientais (mostrar aos técnicos que eles podem ajudar a salvar a camada de ozônio). Os Planos de Gestão de Refrigerantes (RMPs) que se concentram em países do Artigo 5 que consomem baixos volumes de ODS em importantes setores de refrigerante incluem esses diferentes aspectos /UNE98/.

A fim de cumprir com a meta de eliminar os CFCs, deve-se enfatizar não só a substituição de CFCs em equipamentos novos e existentes, mas também a conservação de refrigerantes por meio de reciclagem, recuperação, regeneração e redução de vazamentos.

11.11 Referências

- /ARI 700/ ARI Standard 700-2004: Specifications for Fluorocarbons Refrigerants. Air Conditioning and Refrigeration Institute, Arlington, VA.
- /ARI 740/ ARI Standard 740-1998: Performance of Refrigerant Recovery/Recycling Equipment. Air Conditioning and Refrigeration Institute, Arlington, VA.
- /ARI 94/ Handling and reuse of refrigerants in the United States. April 94 draft published by ARI. Air Conditioning and Refrigeration Institute, Arlington, VA.
- /ASH92/ ASHRAE guidelines 3-1990 and 3a-1992. Reducing Emission of Fully Halogenated Chlorofluorocarbon (CFC) Refrigerants in Refrigeration and Air Conditioning Equipment and Applications.
- /ASH15/ Safety Code for Mechanical Refrigeration. Standard ASHRAE 15-2004.
- /BEN01/ Bennett M. Refrigerant Reclaim Australia. IIR Conference on Refrigerant Management and Destruction Technologies of CFCs, Dubrovnik, Croatia, Aug. 2001.
- /BU01/ D. Butrymowicz. Refrigeration and air conditioning sector in Poland. Communication during the Budapest TOC meeting, April 2001.
- /CAA05/ Final Rule Summary: Complying with the Section 608 Refrigerant Recycling Rule. U.S. Environmental Protection Agency. 6205-J, 2005
- /Clo93/ D. Clodic and F. Sauer: Result of a test bench on the performances of refrigerant recovery and recycling equipment. ASHRAE Transactions. Denver. Annual Meeting. June 1993.
- /Clo94/ D. Clodic and F. Sauer for the French Association of Refrigeration (A.F.F.), Paris: The Refrigerant Recovery Book. 1994 ASHRAE Edition.(Vade-Mecum de la Récupération des CFC. 1993 PYC Edition).
- /Clo98/ D. Clodic. Zero Leaks. ASHRAE Edition. 1998. (Zéro Fuites. 1997 PYC Edition).
- /DES 92/ Ad-hoc Technical Advisory Committee on ODS Destruction Technologies. UNEP, May 1992.
- /DR94/ Order of the Minister of Housing, Spatial Planning and Environment, on regulations on leak-free refrigeration equipment (1994 Order on leak-free refrigeration equipment). The Netherlands, June 1995.
- /EC00/ European Council (E.C.) Regulation no. 2037/00 of 29 June 2000 on Substances that Deplete the Ozone Layer. Official Journal of the European Communities no. L244.
- /FD92/ French Decree no. 971271 of 7 December 1992, J.O. of 12 December 1992.
- /Hot94/ S. Hotani and N. Sawada: References about the decomposing CFCs by mean of an inductively-coupled radio-frequency plasma.
- /IEA02/ Refrigerant Management Programs: Refrigerant Recovery, Recycling and Reclamation. IEA Heat Pump Center. The Netherlands, April 2002.
- /ISO/ ISO 11650: Performance of Refrigerant Recovery and/or Recycling Equipment.
- /Kauf92/ Kauffman R.E. Chemical Analysis and Recycling of Used Refrigerant from Field Systems. ASHRAE Transactions 1992.
- /KMO98/ Evaluieringsrapport for perioden 15.4.92 till 31.12.97. 1998.
- /Manz 91/ K. MANZ: How to handle multiple refrigerants in recovery and recycling equipment. ASHRAE Journal. April 1991.
- /Miz94/ K. Mizuno: Technologies for destruction of ODS in Japan. UNEP Technology and Economic Panel on ODS destruction workshop. October 20-21, 1993, Washington D.C.
- /NIR/ National Institute for Resources and Environment AIST, MITI: Ô Development of CFCs destruction system using radio-frequency plasma.
- /RIN98/ F. Rinne : Substitution von R-22 in gewerblichen Kälteanlagen und Kühlmöbeln. XX FKW Seminar. Hannover, Germany, June 9, 1998.
- SAEJ 1990 Extraction and Recycle Equipment for Mobile Automotive Air Conditioning Systems. Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA.
- SAEJ 1991 Standard of Purity for Use in Mobile Air Conditioning Systems. Society of Automotive Engineers,

Warrendale, PA.

/Sau 95/ Recovery and containment of refrigerants in France. IIF. The Hague. 1995.

U.L. 1963 standard: Refrigerant Recovery/Recycling Equipment. Standard for Safety. Underwriters Laboratories Inc, Northbrook, IL.

/UNE94/ Preliminary list of Manufacturers of Refrigerant Recycling, Recovery and Reclaim Equipment. UNEP IE, 1994.

/UNE94/ Recovery and Recycling. Case Studies. UNEP IE, June 1994.

/UNE98/ Refrigerant Management Plan. UNEP, IE, 1998.

/VAN98/ Van Gerwen R.J.M. 1998. Dutch Regulations for Reduction of Refrigerant Emissions: Experiences with a Unique Approach over the Period 1993-1998, ASERCOM Symposium, IKK, Nuremberg, October 1998.

/VRO97/ Actie 'Grote Koelinstallaties II', Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Werkdocument 1997/345, November 1997.

Anexo 1 – Autores, coautores e colaboradores do Relatório de 2010 do RTOC

Dr. Radhey S. AGARWAL

Professor,
Departamento de Engenharia Mecânica,
IIT Delhi,
Consultor Sênior e Coordenador
Sector Phase out Plan Unit (SPPU)
Ozone Cell, Core-4B, 2nd Floor
India Habitat Centre, Lodhi Road
Nova Déli- 110 003
Índia
Celular: +91 981 136 1865
E-mail: rsarwal@mech.iitd.ac.in,
rsagarwal@sppu-india.org

Julius BANKS

EPA dos EUA
1200 Pennsylvania Avenue, NW
Mail Code: 6205J
Washington DC 20460
Estados Unidos
E-mail: banks.julius@epa.gov

James M. CALM, P.E.

Consultor de engenharia
10887 Woodleaf Lane
Great Falls, VA 22066-3003
Estados Unidos
Tel: +1 703 636 9500
E-mail: jmc@jamesmcalm.com

Dr. Radim ŷERMÁK

Ingersoll Rand, IR Engineering and Technology
Center
Praga
Florianova 2460
253 01 Hostivice
República Tcheca
Tel.: +420 257 109 597
Fax: +420 251 562 187
E-mail: radim_cermak@eu.irco.com

Prof. Guangming CHEN

Instituto de Refrigeração e Criogenia
Universidade de Zhejiang
Hangzhou 310027, Zhejiang
R. P. China
Tel.: +86 571 8795 1680
E-mail: gmchen@zju.edu.cn

Dr. Denis CLODIC

Diretor Emérito de Pesquisa
Presidente da empresa de inovação
ERIE CEP Mines-ParisTech
5, Rue Léon Blum
91120 Palaiseau
França
Tel.: + 33 1 69 19 45 02
E-mail : denis.cloclic@mines-ParisTech.fr

Dr. Daniel COLBOURNE

PO Box 4745
Stratford-upon-Avon
CV37 7DF
Reino Unido
Tel: +44 1789 268 285
E-mail: d.colbourne@re-phridge.co.uk

James G. CRAWFORD

(até sua aposentadoria)
Trane Residential Systems
The Trane Company/Ingersoll Rand
6200 Troup Highway
Tyler, TX 95707
Estados Unidos
Tel.: +1 903 509-7273
E-mail: jaygeesea@gmail.com

Dr. Sukumar DEVOTTA

T2/301 Skycity
Vanagaram Ambattur Road
Vanagaram
Chennai 600095
Índia
Tel.: +91 44 2653 0830
E-mail: sdevotta@gmail.com

Martin DIERYCKX

Daikin Europe
Zandvoordestraat 300
Oostende 8400
Bélgica
Tel: +32 59 55 86 14
E-mail: dieryckx.m@daikineurope.com

Dennis DORMAN

Diretor
Tecnologia e Desenvolvimento de Compressores
The Trane Company
Ingersoll Rand
3600 Pammel Creek Road
La Crosse, WI 54601
Estados Unidos
Tel.: +1- 608 787 2018
E-mail: ddorman@trane.com

Kenneth E. HICKMAN

Building Efficiency Group
Johnson Controls
631 S. Richland Ave.
York, PA 17403
Estados Unidos
Tel.: 1- 717 771 7459
E-mail: kenneth.e.hickman@jci.com

William R. HILL

Especialista técnico, consultor
MACRAE, LLC
809 Bridge Park Dr.
Troy, MI 48098
Estados Unidos
E-mail: Hillmich50@aol.com

Martien JANSSEN

Re/genT BV
Lagedijk 22
5705BZ Helmond
Países Baixos
Tel.: +31 492 476365
E-mail: martien.janssen@re-gent.nl
Web: www.re-gent.nl

Makoto KAIBARA

Panasonic Corporation
2-3-1-1 Noji-higashi
Kusatsu Shiga
525-8520 Japão
Tel.: +81-77-561-3101
E-mail: kaibara.mak@jp.panasonic.com

Prof. Dr. Michael KAUFFELD

Instituto de Refrigeração, Ar Condicionado e
Engenharia Ambiental
Universidade de Ciências Aplicadas de Karlsruhe
Moltkestrasse 30
76133 Karlsruhe
Alemanha
Tel.: +49 721 925 1843
Fax: +49 721 925 1915
E-mail: michael.kauffeld@hs-karlsruhe.de

Fred J. KELLER, PE

FK Consulting
1095 Observatory Road
Martinsville, IN 46151
Estados Unidos
Tel.: +1 317 834 9097
E-mail: fredjkeller@gmail.com

Prof. Dr.-Ing. Jürgen K HLER

Institut für Thermodynamik (IfT)
Instituto de Tecnologia
Universidade de Braunschweig
Hans-Sommer-Str. 5
38106 Braunschweig
Alemanha
Tel.: +49 531 391 2625
Website: www.ift.tu-bs.de
E-mail: juergen.koehler@tu-bs.de

Dipl. Ing. Holger KÖNIG

CTO - UHTC
United Heat Transfer
Technology Center / a-heat AG
Kemptener Strasse 99
88131 Lindau
Alemanha
Tel.: +49 8382 30446-55
Celular: +49 175 520 4942
E-mail: holger.koenig@uhtc.com

Dr. Lambert KUIJPERS (codiretor do RTOC)

Centro para a Sustentabilidade de Eindhoven (ECfS)
Connector 1.15b
Het Eeuwsel 6, PO Box 513
Technical University
5600MB Eindhoven
Países Baixos
Tel.: +31 40 247 44 63
E-mail: lambermp@planet.nl

Edward J. McINERNEY

Engenheiro-chefe aposentado
General Electric
Consumer & Industrial
8012 Kendrick Crossing Lane
Louisville, KY 40291
Estados Unidos
Tel.: +1 502 718 8653
E-mail: ejmcinerney@aol.com

Prof. Dr. Ing. Petter NEKSÅ
SINTEF Energy Research
Energy Processes
P.O.Box 4761 Sluppen
7465 Trondheim
Noruega
Celular: +47 92 60 65 19
E-mail: Petter.Neksa@sintef.no

Horace NELSON
24 Arnold Road
Kingston 4
Jamaica, W.I.
Tel.: +1 876 328 6167
E-mail : horacen@msn.com

Dr. Roger NORDMAN
Centro de Bombas de Calor IEA
Instituto Técnico de Pesquisa SP da Suécia
50115 Boras
Suécia
Tel.: +46 10 516 5544
E-mail: roger.nordman@sp.se

Alexander Cohr PACHAI
Johnson Controls Dinamarca
Christian D.X's Vej 201
8270 Hoejbjerg
Dinamarca
Tel.: office +45 87 36 70 00
Celular: +45 29 22 71 59
E-mail.: alexander.c.pachai@jci.com

Dr. Andy PEARSON
Star Refrigeration Ltd
Glasgow
G46 8JW
Reino Unido
Tel.: +44 141 638 7916
E-mail: apearson@star-ref.co.uk

Per Henrik PEDERSEN
Instituto Tecnológico da Dinamarca
Centro de Tecnologia de Refrigeração e
Bombas de Calor
2630 Taastrup
Dinamarca
Tel.: +45 72 20 25 13
E-mail: prp@dti.dk

Prof. Dr. Roberto de Aguiar PEIXOTO (co-chair RTOC)
Instituto Mauá de Tecnologia - IMT
Departamento de Eng. Mecânica
Praça Mauá 01
São Caetano do Sul
São Paulo - 09580-900
Brasil
Tel.: 55-11- 4239 3021
E-mail: robertopeixoto@maua.br

Dr. Sulkhan SULADZE
Representante da Georgia RAC Association
30 Bldg.17
0165 Tbilisi
Geórgia
Celular: +995 99 231 832
E-mail: gra@post.ge

Paulo VODIANITSKAIA
Consultoria HAPI
Rua João Colin, 1285 s.3
89204-001 Joinville SC
Brasil
Tel.: +55 47 34 22 15 02
E-mail :paulo@hapiconsult.com.br

Coautores (não membros do RTOC)

Glenn C. HOURAHAN, P.E. (capítulo 2)
Vice-Presidente Sênior
Air Conditioning Contractors of America (ACCA)
2800 Shirlington Road, Suite 300
Arlington, VA 22206
Estados Unidos
Tel.: +1 703 824 8865
E-mail: glenn.hourahan@acca.org,
glenn@hourahan.com

Colaboradores (não membros do RTOC)

Gerald CAVALIER (capítulo 6)
Cemafruid
Parc de Tourvoie, BP 134
92185 Antony cedex
França
Telefone: +33 1 40 96 65 06
Fax: +33 1 40 96 65 05
E-mail: gerald.cavalier@cemafruid.fr

Dr. Mark O. McLINDEN (capítulo 2)
Engenheiro Químico
Divisão de Propriedades Físicas e Químicas
National Institute of Standards and Technology
(NIST)
Departamento de Comércio dos EUA
325 Broadway, Mail Stop 838.07
Boulder, CO 80303-3328
Estados Unidos
Tel.: +1 303 497 3580
E-mail: mark.mclinden@nist.gov

Dr.-Ing. Yves WILD (capítulo 6)
Dr.-Ing. Yves Wild Ingenieurbuero GmbH
Elbchaussee 1
228765 Hamburg
Alemanha
Telefone: +49 40 390 70 65
Fax: 49 40 390 24 75
E-mail: YWild@DrWild.de

Prof. Dr. Ruhe XIE (capítulo 6)
Centro de Pesquisa para Logística e Transporte
Universidade de Guangzhou
230 Waihuanxilu
Mega Centro de Educação Superior de Guangzhou,
510006
R. P. China
Tel.: +86 20 39366819
Fax: +86 20 39366819
E-mail: ruhe_xie@yahoo.com;
rhxie@gazhu.edu.cn

Anexo 2: - Excerto do Relatório final sobre “Inventários globais do conjunto mundial de equipamentos de refrigeração e ar condicionado a fim de determinar as emissões de refrigerante”. Atualização de 1990 a 2006.

Acordo 0874C0147 da ADEME/ARMINES – Dezembro 2009

Sumário

1. RESULTADOS GLOBAIS: DEMANDA, BANCOS E EMISSÕES DE REFRIGERANTES

- 1.1 DEMANDA GLOBAL DE REFRIGERANTES NO ANO DE 2006
 - 1.1.1 *Demanda global de refrigerante por tipos de refrigerante*
 - 1.1.2 *Demanda de refrigerantes por setor de aplicação e por país*
- 1.2 BANCOS DE REFRIGERANTE POR SETOR DE APLICAÇÃO E POR PAÍS
- 1.3 EMISSÕES DE REFRIGERANTE POR SETOR DE APLICAÇÃO E POR PAÍS
- 1.4 EMISSÕES DE EQUIVALENTES DE CO₂ POR SETOR DE APLICAÇÃO E POR PAÍS
- 1.5 RECUPERAÇÃO DE REFRIGERANTE
- 1.6 QUALIDADE DOS DADOS E CONSISTÊNCIA DOS DADOS

2. MÉTODO DE CÁLCULO, DADOS E BANCOS DE DADOS

- 2.1 MÉTODOS DE INVENTÁRIO DE REFRIGERANTES E CÁLCULO DE EMISSÕES PARA A INDÚSTRIA DE REFRIGERAÇÃO
- 2.2 REFRIGERANTES E REGULAMENTOS
- 2.3 PAGOS DE REFRIGERANTES DO SEGUNDO E DO QUARTO RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DO IPCC
- 2.4 CONSISTÊNCIA E MELHORIA DA QUALIDADE DOS DADOS

REFERÊNCIAS

APÊNDICE 1

1. Resultados globais: demanda, bancos e emissões de refrigerantes

1.1 Demanda global de refrigerantes no ano de 2006

O controle de qualidade do banco de refrigerante e das emissões é feito por meio da comparação entre a demanda anual de refrigerante calculada pela RIEP e as vendas anuais de refrigerante declaradas pelos fabricantes (AFEAS). A comparação é feita por refrigerante e é apresentada na Seção 2.6.

Observação: o método RIEP deriva, aplicação por aplicação, as necessidades de refrigeração, ou seja, os refrigerantes carregados em novos equipamentos e os refrigerantes carregados para preencher equipamentos existentes. Essas necessidades de refrigerante são chamadas de demanda.

Uma vez que a demanda de refrigerante é calculada, esta é comparada com os dados de vendas de refrigerante declarados pelos fabricantes e distribuidores de refrigerante. Em muitos países, as quantidades de refrigerante vendido são monitoradas. Os distribuidores e fabricantes de refrigerantes publicam suas vendas anuais de CFCs, HCFCs, e às vezes de refrigerantes HFC. Em nível mundial, o AFEAS (Estudo de Aceitabilidade Ambiental de Fluorcarbonos Alternativos) publica todo ano as quantidades de refrigerante (por tipo) vendidas pelos fabricantes de produtos químicos em países desenvolvidos. Esses dados foram usados no passado para prever as emissões globais de CFCs, HCFCs, e HFC.

Deve-se destacar, novamente, que 2009 é o último ano com dados publicados pelo AFEAS. Assim, a partir de então, não haverá dados públicos disponíveis sobre os mercados globais de refrigerantes detalhados por tipo de refrigerante.

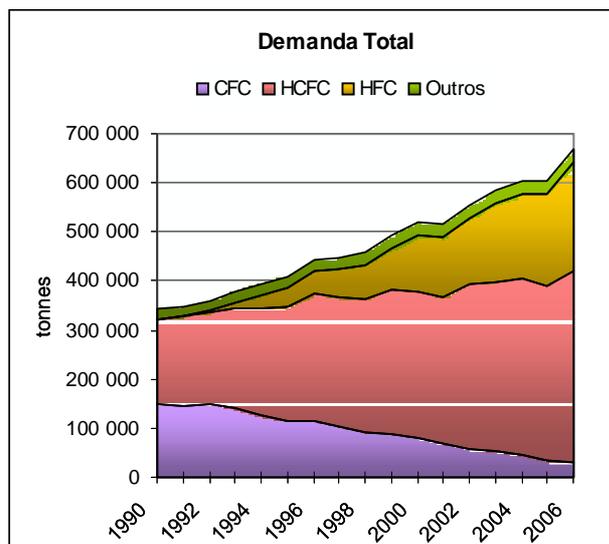
1.1.1 Demanda global de refrigerante por tipos de refrigerante

O módulo de cálculo ligado à base de dados RIEP permite a fusão de quantidades de refrigerante por tipo e por aplicação; os dados do ano de 2006 são apresentados na Tabela 2-1.

Esse relatório apresenta uma grande mudança em relação ao relatório de 2003, devido a uma superestimativa anterior da refrigeração comercial da China com base nas referências que foram usadas (relatórios de marketing). A consequência é que a demanda por CFC-12 foi reduzida por fator 2 em 2006, quando comparada àquela calculada no relatório de 2003.

Tabela e Figura 1-1 – Demanda global de refrigerantes de 1990 a 2006 (em toneladas)

Demanda de refrigerante (t) em 2006		
CFC	R-11	6 331
	R-12	20 328
	R-502	5 579
HCFC	R-22	376 992
	R-408A	3 443
	R-401A	772
	R-123	6 295
HFC	R-134a	135 569
	R-404A	28 279
	R-407C	24 607
	R-410A	28 922
	R-507	3 986
	R-413A	143
Outros	R-717	26 194
	R-600a	2 869
Total	Todos	670 309



A Tabela 1-1 e a Figura 1-1 resumem os desenvolvimentos essenciais de 1990 a 2006. A demanda total de refrigerante para todos os tipos de refrigerante aumentou de 345.000 toneladas em 1990 para cerca de 670.000 toneladas em 2006, o que representa um aumento de quase 100%. Isso enfatiza o impacto do crescimento econômico de países em rápido desenvolvimento sobre o total, com uma menção especial à China.

Mundialmente, a demanda anual de refrigerante CFC diminuiu de 150.000 toneladas em 1990 para 32.000 toneladas em 2006. A demanda de CFC em 2006 representa cerca de 5% da demanda total de refrigerante.

A demanda anual dos HCFC aumentou de 174.000 para 387.000 toneladas em 2006 (cerca de 58% da demanda total) e a demanda por HFC, que era insignificante em 1990, aumentou para cerca de 221.000 toneladas em 2006 (33% da demanda total).

A demanda anual de amônia aumentou de 22.000 para 26.000 toneladas em 2006, e a demanda do HC, que era nula em 1990, estava na faixa de 2.800 toneladas no ano de 2006.

1.1.2 Demanda de refrigerantes por setor de aplicação e por país

As Figuras 1-2 e 1-3 apresentam as demandas de refrigerantes, incluindo HCs e amônia, divididas por aplicação e para os principais países ou grupos de países.

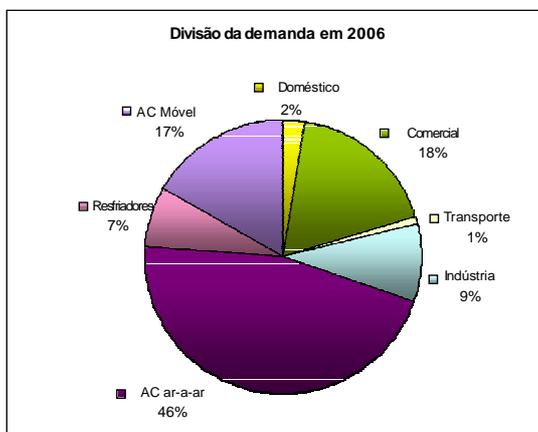


Figura 1-2 – Demanda de refrigerante dividida por aplicação.

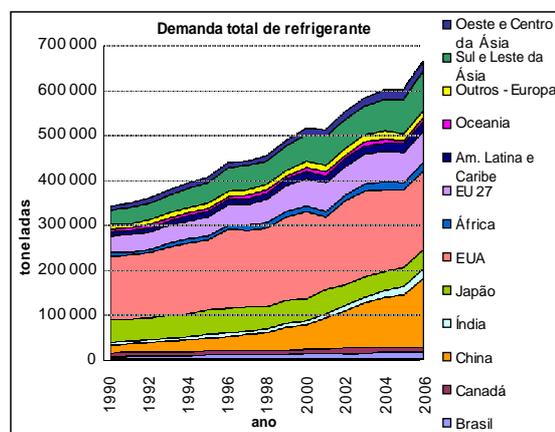


Figura 1-3 - Demanda de refrigerante dividida por países e grupos de países.

As Figuras 1-4 e 1-5 apresentam as demandas de HFC divididas por aplicações e por países.

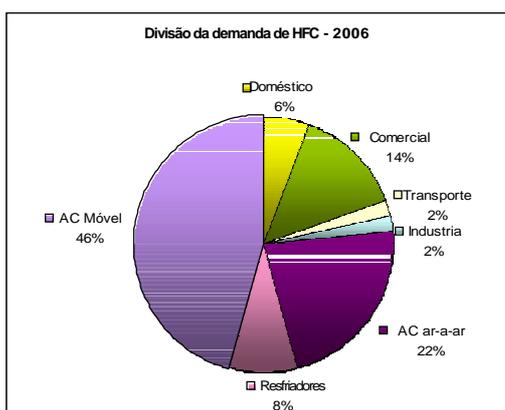


Figura 1-4 – Demanda de HFC por aplicação.

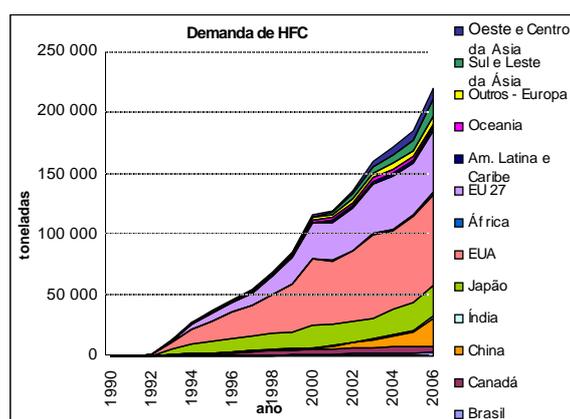


Figura 1-5 – Demanda de HFC por país e grupos de países.

A Figura 1.2 indica que, quando todos os refrigerantes são contabilizados, os setores dominantes são os de refrigeração comercial e ar condicionado estacionário. Para HFC, o setor dominante é MAC, com 46% da demanda por HFC.

A demanda de refrigerante nos EUA ainda é a maior, embora o crescimento chinês seja o principal impulsionador da demanda total de refrigerante.

A necessidade de HFCs da UE-25 foi de cerca de 40.000 t em 2003. Nos EUA, por causa da demanda por R-134a para o setor de MAC, as necessidades são mais elevadas: 69.000 toneladas.

1.2 Bancos de refrigerante por setor de aplicação e por país

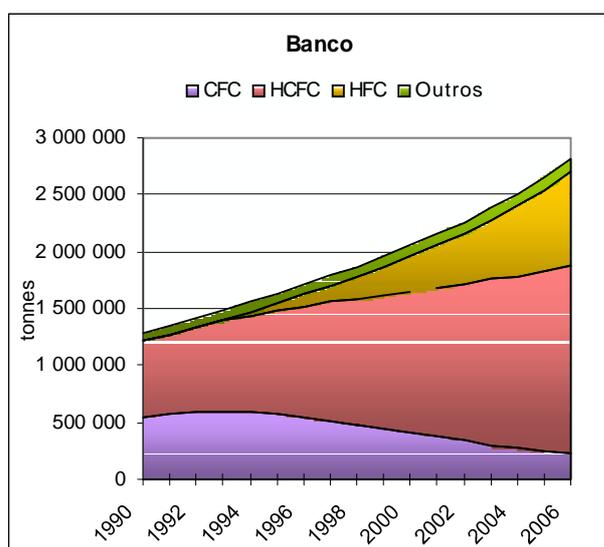
O cálculo dos bancos refrigerante requer a determinação de todas as bases instaladas e frotas de equipamentos por toda sua vida útil. Os bancos de refrigerantes variam substancialmente em tamanho e tipos de refrigerante, dependendo do setor de aplicação e do país.

Em 2006, a soma de todos os bancos de todos os tipos de refrigerante (ver Figura 1-2) **foi calculada em 2.815.000 toneladas**. O banco global é aproximadamente igual a 4,5 vezes a demanda anual. Os bancos de refrigerante e as demandas anuais de refrigerante seguem as mesmas tendências:

- o tamanho do banco de CFC está em declínio, mas ainda representa cerca de 230.000 toneladas, ou cerca de 8% do banco de refrigerantes total em 2006
- os HCFCs representam 1.645.000 toneladas, ou 58% do banco total
- os HFCs representam um pouco menos de 821.000 toneladas, ou cerca de 29% do banco total
- os 4% restantes do banco consistem de amônia e HCs.

Tabela 1-2 – Bancos totais de refrigerante (t)

Banco de refrigerante (t) em 2006		
CFC	R-11	36 611
	R-12	173 895
	R-502	17 313
HCFC	R-22	1 585 777
	R-408A	10 592
	R-401A	3 794
	R-123	45 923
HFC	R-134a	576 793
	R-404A	69 354
	R-407C	71 498
	R-410A	93 602
	R-507	8 142
	R-413A	1 979
Outros	R-717	109 793
	R-600a	10 325
TOTAL	TODOS	2 815 391



O banco de refrigerante total aumentou 120% para o período de 1990 a 2006.

As Figuras 1-6 e 1-7 apresentam os bancos de refrigerantes, incluindo HCs e amônia, divididos por aplicação e para os principais países ou grupos de países.

Comparando a Figura 1-6, que representa o banco de refrigerante mundial por setor e a Figura 1-8, que representa o banco de HFC também por setor, é óbvio que o cronograma muito diverso de mudanças de refrigerante por aplicação leva a grandes diferenças na prevalência de um setor sobre os demais. A ênfase em sistemas de ar condicionado móvel (MAC), por exemplo, está relacionada com a rápida eliminação do CFC-12 no setor a partir de 1992, o que conseqüentemente leva a uma cota de mercado significativa para os HFCs em MAC. De fato, se todos os refrigerantes são considerados, os principais setores são ar condicionado estacionário e, depois, refrigeração comercial. Esses dois setores representam cerca de 70% do consumo total de refrigerantes.

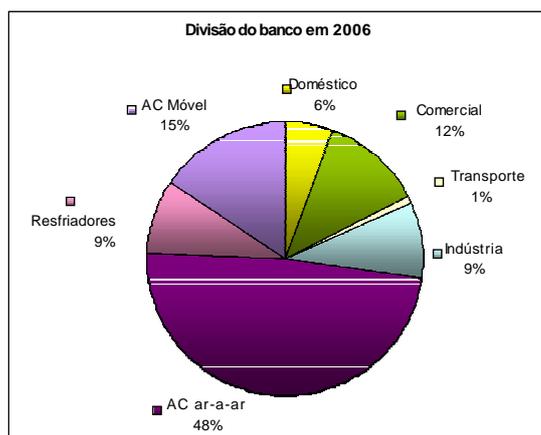


Figura 1-6 – Banco de refrigerante em 2006 por setor

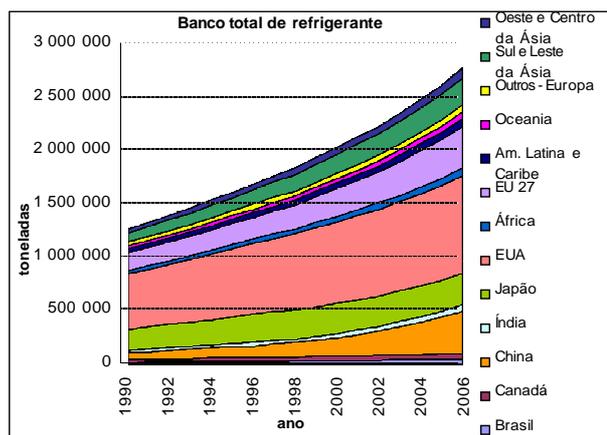


Figura 1-7 – Banco de refrigerante – por país.

As Figuras 1-8 e 1-9 apresentam as demandas de HFC divididas por aplicação e por países.

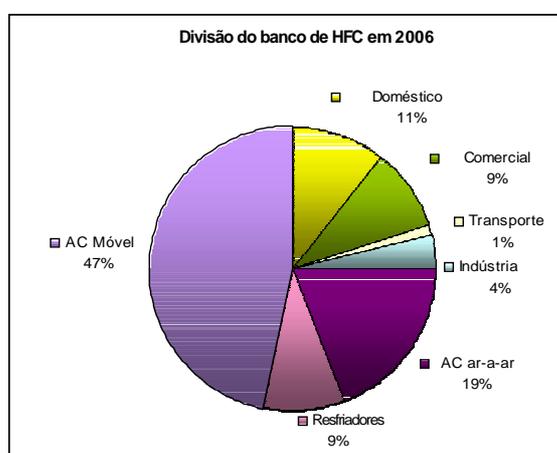


Figura 1-8 – Banco de HFC em 2006, por setor.

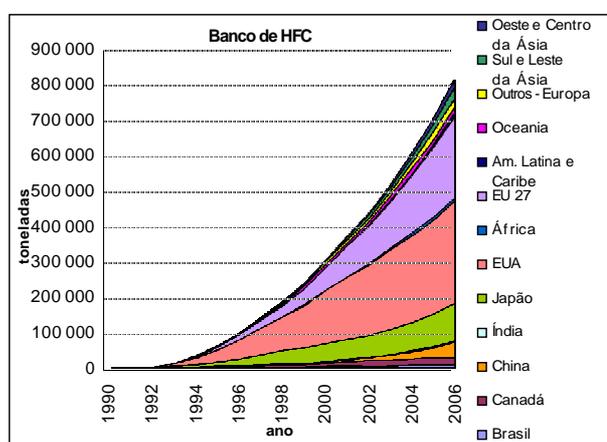


Figura 1-9 – Banco de HFC – por país.

Da quantidade total de refrigerantes, 57% está em banco em equipamentos de ar condicionado estacionário, incluindo resfriadores (9%). Isso confirma as tendências observadas na demanda anual de refrigerante.

Em função da rápida mudança de CFCs para HFCs, os sistemas MAC (que contêm apenas 15% do banco total de refrigerante) representam 47% do banco total de refrigerantes HFC (ver Figuras 1-8 e 1-9). Esta importante observação indica as principais tendências futuras quando é necessário realizar a eliminação dos HCFCs. O banco de HCFC é atualmente o maior banco e 78% dele (incluindo resfriadores) está em sistemas de ar condicionado estacionário.

13 Emissões de refrigerante por setor de aplicação e por país

Com base na abordagem *bottom-up*, considerando todos os tipos de refrigerante em sistemas de refrigeração e ar condicionado, é possível deduzir as emissões de refrigerante para todos os tipos de refrigerante no período de 1990 a 2000.

Tabela 1-3 – Emissões de refrigerante de todos os tipos de refrigerante (toneladas)

Emissões de refrigerante em 2006 (t)		
CFC	R-11	6 958
	R-12	35 195
	R-502	5 430
HCFC	R-22	233 686
	R-408A	3 172
	R-401A	958
	R-123	3 983
HFC	R-134a	82 825
	R-404A	14 663
	R-407C	7 074
	R-410A	7 918
	R-507	2 271
	R-413A	616
Outros	R-717	19 562
	R-600a	231
TOTAL	Todos	424 542

A Tabela 1-3 apresenta a evolução das emissões de todos os tipos de refrigerante de 250.000 toneladas em 1990 para 425.000 toneladas em 2006:

- As emissões de CFC atingem um valor máximo de 120.000 toneladas em 1995 e caem para 47.000 em 2006 devido a sua eliminação,
- As emissões de HCFC aumentam de 156.000 toneladas para 242.000 toneladas e
- As emissões de HFC aumentam de zero para cerca de 115.000 toneladas.

No entanto, a soma das emissões de CFC e HCFC é igual a dois terços (68%) de todas as emissões de refrigerante.

Observação: a gestão de recipientes de refrigerante usados a cada ano, tanto para carga de novos equipamentos quanto para manutenção da base instalada implica a liberação para a atmosfera de quantidades mínimas; o resíduo de vapor, que representa cerca de 3% da carga de refrigerante, e muitas vezes o resíduo líquido, que representa entre 5 e 8%. Para esses inventários, os resíduos de refrigerante considerados são de 10% das vendas anuais. Essas emissões **não são consideradas** nos números de emissão de refrigerante relacionados a equipamentos de refrigeração e ar condicionado.

Tabela 1-4 Emissões devido a grandes resíduos de recipientes (toneladas)

2006	Doméstico	Comercial	Transporte	Indústria	AC ar-a-ar	Resfriadores	AC Móvel	TOTAL
CFC	129	817	21	484	1	784	568	2 803
HCFC	-	6 766	213	2 206	22 384	1 728	398	33 696
HFC	1 065	2 653	379	409	4 324	1 637	8 794	19 261
Others	249	71	-	2 184	-	29	-	2 534
Total	1 444	10 306	613	5 283	26 709	4 179	9 760	58 294

As Figuras 1-10 e 1-11 apresentam as emissões de refrigerantes, incluindo HCs e amônia, divididas por aplicação e para os principais países ou grupos de países.

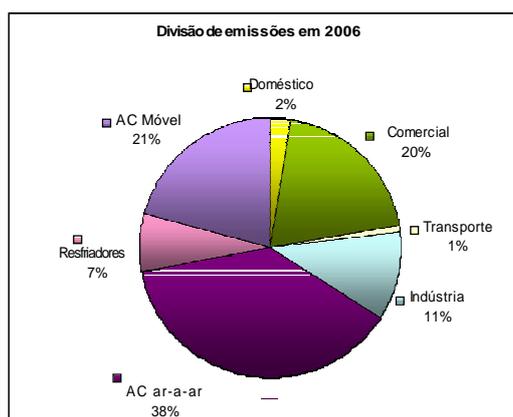


Figura 1-10 – Emissões de refrigerante em 2006, por setor.

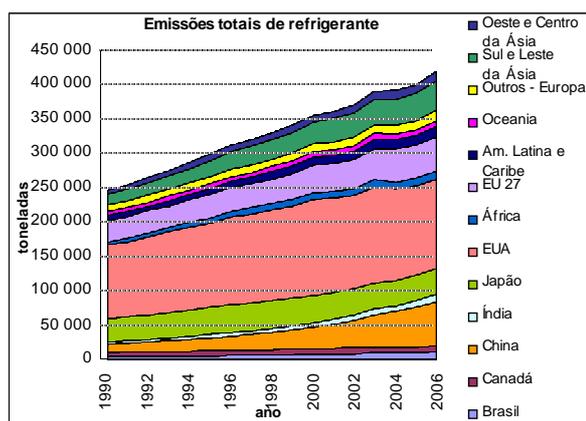


Figura 1-11 – Emissões de refrigerante – por país.

As Figuras 1-12 e 1-13 apresentam as emissões de HFC divididas por aplicação e para os principais países ou grupos de países.

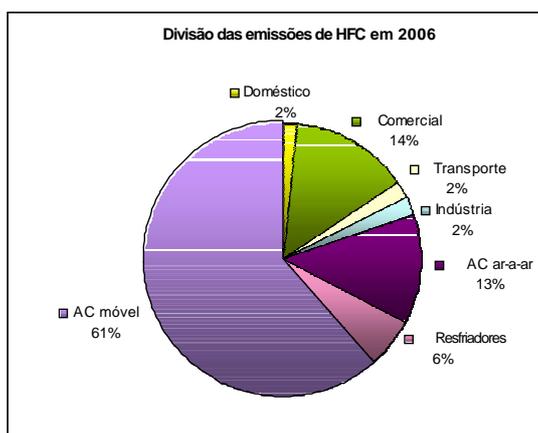


Figura 1-12 – Emissões de HFC em 2006, por setor.

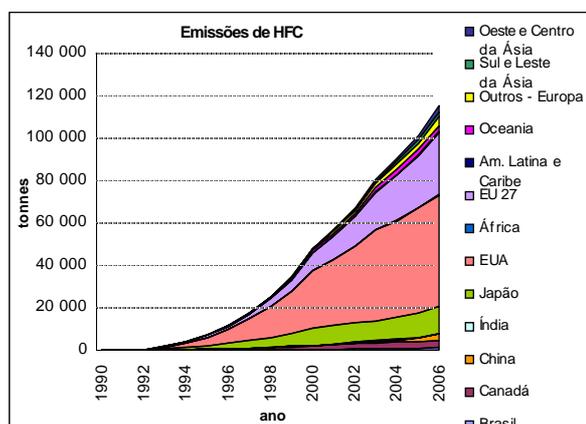


Figura 1-13 – Emissões de HFC – por país.

Tendo em conta todas as emissões de refrigerante (independentemente do tipo de refrigerante), 38% são provenientes de sistemas de ar condicionado, não incluindo resfriadores, 20% das emissões provêm da refrigeração comercial e 21% de sistemas MAC. No entanto, quando analisamos apenas as emissões de HFC, o setor MAC representa 61% das emissões de HFC. Esse fato está relacionado com a rápida mudança do CFC-12 para o HFC-134a e com o fator de emissão relativamente elevado, considerando as perdas em serviço que se aplicam a equipamentos MAC.

A refrigeração comercial é também uma fonte significativa de emissões, caracterizada por mais de 20% do total das emissões de refrigerante. As taxas de emissão são três vezes mais elevadas nos sistemas de refrigeração comercial do que em AC estacionário.

A refrigeração doméstica, que na verdade é o setor com o maior número de equipamentos, colabora significativamente para as emissões de refrigerante devido a seus baixos níveis de carga e de emissões.

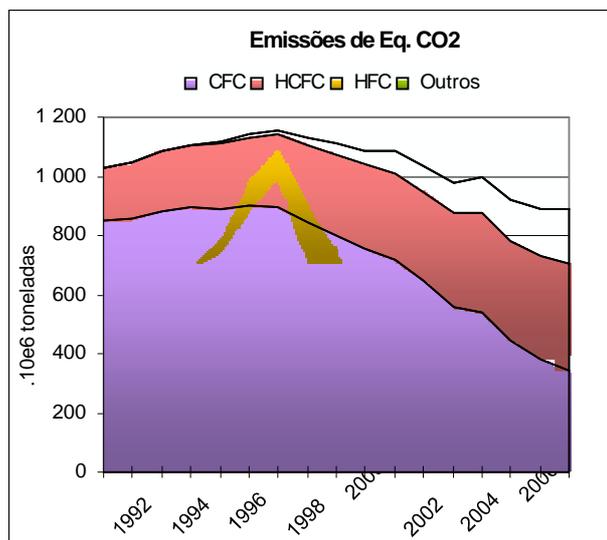
O transporte, embora caracterizado por um fator de emissão muito elevado, tem pequena colaboração global devido ao número relativamente baixo de equipamentos.

1.4 Emissões de equivalentes de CO₂ de refrigerantes por setor de aplicação e por país

Os cálculos de emissões de equivalentes de CO₂ são baseados nos valores de PAG publicados no Segundo Relatório de Avaliação do IPCC.

Tabela 1-5 – Emissões de equivalentes de CO₂ de todos os tipos de refrigerante (toneladas)

Emissões de equiv. CO ₂ (t) 2º. Relatório de Avaliação		
CFC	R-11	26 440 153
	R-12	285 086 629
	R-502	29 834 731
HCFC	R-22	350 532 642
	R-408A	8 402 783
	R-401A	932 246
	R-123	358 515
HFC	R-134a	107 673 924
	R-404A	47 802 130
	R-407C	10 794 708
	R-410A	13 699 040
	R-507	7 495 122
	R-413A	1 170 362
Outros	R-717	0
	R-600a	4 617
TOTAL	Todos	890 227 602



Em 2006, o principal colaborador para o aquecimento global foi o HCFC-22 (39%). O CFC-12 ainda representa 32% da contribuição total de todos os refrigerantes para o aquecimento global no ano de 2003, enquanto as emissões de CFC-12 constituem apenas 8% das emissões totais de refrigerante em 2006.

Os HFCs, que representam 27% da emissão total de refrigerantes, contribuem com apenas 21% das emissões de equivalente de CO₂ de refrigerantes no ano de 2006 em função do PAG relativamente baixo do HFC-134a.

As Figuras 1-14 e 1-15 apresentam as emissões de equivalente de CO₂ divididas por aplicação e para os principais países ou grupos de países.

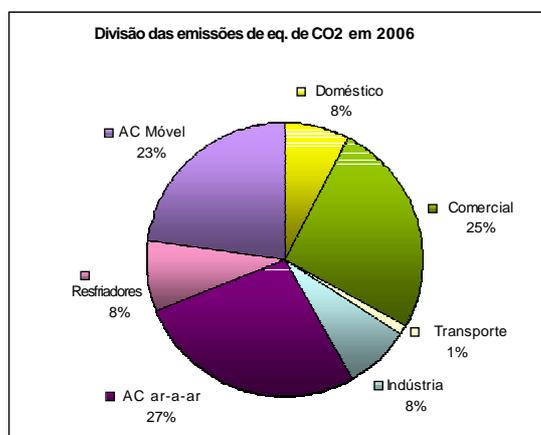


Figura 1-14 Emissões de equiv. de CO₂ de refrigerantes em 2006, por setor.

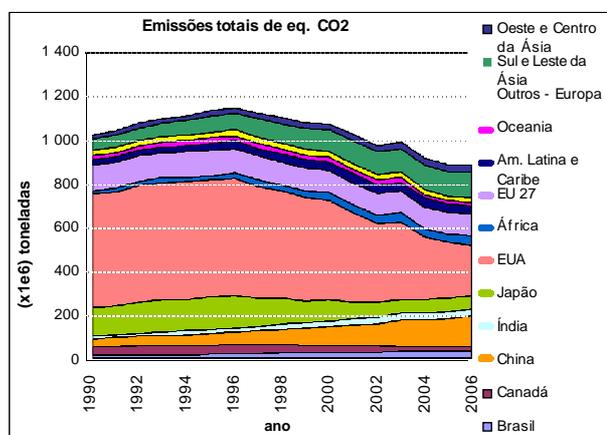


Figura 1-15 Emissões de equiv. de CO₂ de refrigerantes – por país.

Excerpt of the Final Report on Global inventories of the worldwide fleets of refrigerating and air-conditioning equipment in order to determine refrigerant emissions. The 1990 to 2006 updating. ADEME/ARMINES Agreement 0874C0147– December 2009

As Figuras 1-16 e 1-17 apresentam as emissões de equivalente de CO₂ apenas para refrigerantes HFC, divididas por aplicação e para os principais países ou grupos de países.

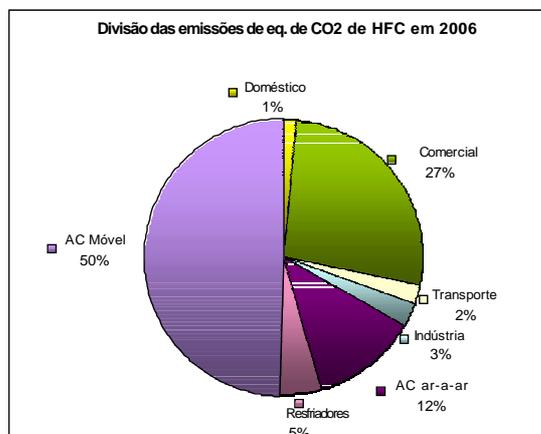


Figura 1-16 – Emissões de equiv. de CO₂ de refrigerantes HFC em 2006, por setor.

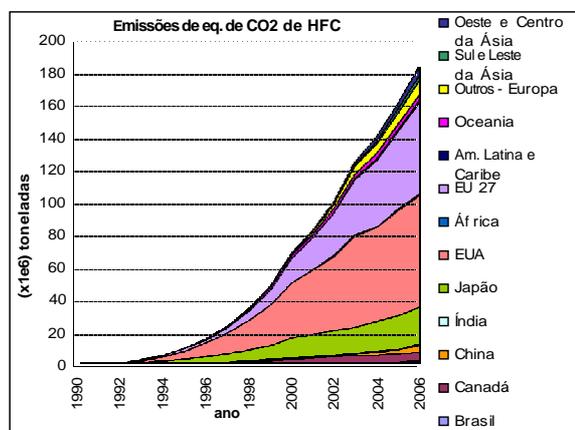


Figura 1-17 Emissões de equiv. de CO₂ de refrigerantes HFC – por país.

27% do total das emissões de equivalente de CO₂ provêm de equipamentos de refrigeração comercial, considerando todos os tipos de refrigerantes.

Para aplicações de baixa temperatura em refrigeração comercial, a substituição (futura) do HCFC-22 por R-404A implica em um aumento significativo nas emissões de equivalentes de CO₂ aumentará significativamente neste setor. Isso se deve ao elevado PAG do R-404A (2,2 vezes maior do que o PAG do HCFC-22).

1.5 Recuperação de refrigerante

Tabela 1-6 Refrigerantes recuperados (toneladas)

Recuperação de refrigerante (t)		
CFC	R-11	851
	R-12	1 040
	R-502	146
HCFC	R-22	25 139
	R-408A	712
	R-401A	219
	R-123	657
HFC	R-134a	2 704
	R-404A	526
	R-407C	0
	R-410A	0
	R-507	0
Outros	R-717	1 625
	R-600a	0
Total	Todos	33.619

Todas as quantidades de refrigerantes recuperados calculadas estão diretamente ligadas às suposições feitas para cada aplicação e para grupos de países. Muito poucos dados estão disponíveis sobre a quantidade que é realmente recuperada. Além disso, e em particular para o CFC-12, o refrigerante recuperado pode ser diretamente reutilizado em outro equipamento, sem ser transferido para o setor de regeneração de refrigerante. Há um elevado nível de incerteza; se as circunstâncias reais forem diferentes das hipóteses feitas para cálculos, parte da quantidade que supostamente seria recuperada pode acabar por ser emitida.

1.6 Qualidade dos dados e consistência dos dados

Neste relatório, assumimos duas abordagens complementares: a primeira avalia a qualidade dos dados de atividade e fatores de emissão e a segunda compara a consistência da demanda por refrigerante, derivada para cada tipo de refrigerante e para toda a aplicação pelo RIEP em comparação com as vendas de refrigerante declaradas a nível mundial pelo AFEAS.

1.6.1 Incertezas

Dependendo do setor de aplicação, as incertezas são diferentes porque os dados de atividade incluem diferentes incertezas ou porque os fatores de emissão podem variar significativamente de um país para outro.

Assumimos uma abordagem simples que fornece um índice de qualidade expresso em porcentagem. Para dados de atividade: o mercado, a carga de refrigerante e a vida útil do equipamento são os principais elementos que definem a qualidade dos dados. Para fatores de emissão: emissões fugitivas de gases e eficiência de recuperação no fim de vida são os dois principais parâmetros.

As incertezas sobre os parâmetros de entrada são baseadas em avaliações de peritos dos diferentes setores. Esses valores são fornecidos na Tabela 1-7.

Tabela 1-7 Incertezas sobre parâmetros de entrada

Incerteza sobre entrada	MAC	SAC	IND	TRA	COM	DOM
Mercado de equipamentos (a)	2,50%	2,50%	10%	12,50%	7,50%	2,50%
Vida útil do equipamento (b)	7,50%	2,50%	7,50%	2,50%	7,50%	12,50%
Carga média do equipamento (c)	2,50%	12,50%	10%	7,50%	7,50%	2,50%
Taxa de emissão (d)	10,00%	7,50%	10%	7,50%	10%	12,50%
Eficiência de recuperação (e)	10,00%	7,50%	12,50%	7,50%	12,50%	2,50%

O cálculo dos limites inferior e superior de incertezas é baseado em equações simplificadas apresentadas na Tabela 1-8. Presume-se que as incertezas não mudam ao longo dos anos.

Tabela 1-8 Cálculo dos limites inferior e superior para bancos e emissões

Resultados	Limiar mínimo	Limiar máximo
Banco	$1 - (a + b + c)$	$1 + (a + b + c)$
EOL	$1 - (a + c + e)$	$1 + (a + c + e)$
Fugitivas (gases)	$1 - (a + b + c + d)$	$1 + (a + b + c + d)$
Emissões totais	$(EOL \text{ mínimo} + Fug)/(EOL + Fug)$	$(EOL \text{ máximo} + Fug)/(EOL + Fug)$

Com base nesses limites, é possível avaliar as incertezas sobre bancos (dados de atividade) e emissões.

Tabela 1-9 Incertezas sobre resultados

	BANCOS	EMISSIONES
MAC	12,5%	21,2%
SAC	17,5%	24,4%
IND	27,5%	37,1%
TRA	22,5%	29,7%
COM	22,5%	32,0%
DOM	17,5%	12,8%
GLOBAL	18,2%	26,6%

1.6.2 Comparação entre as demandas de refrigerante (cálculos RIEP) e os mercados de refrigerante (declarados pelo AFEAS)

As vendas anuais de refrigerante são publicados pelo AFEAS desde 1990. O RIEP permite o cálculo da demanda anual de refrigerantes, incluindo refrigerantes carregados em novos equipamentos e refrigerantes vendidos para manutenção.

O AFEAS publica dados somente quando as vendas acumuladas são maiores do que 5.000 toneladas e, portanto, não há dados disponíveis para alguns componentes de novas misturas de HFC, como HFC-125 e HFC-32. O consumo de todos os países não incluídos no Artigo 5 é monitorado, bem como o de alguns países do Artigo 5: Argentina, Brasil, México e Venezuela.

A comparação dos dados do AFEAS (vendas declaradas) e da avaliação RIEP para a demanda de refrigerante permite verificar a consistência do método de cálculo a nível global.

Demanda por CFC

Antes de 1995, a demanda era menor que as vendas. Depois da data de eliminação da produção de CFC, as vendas declaradas pelo AFEAS diminuíram rapidamente até um valor próximo de zero em 2000, mas ainda existe demanda durante esse período. A diferença pode ser explicada por um efeito de estoque (usuários finais compram refrigerante quando permitido para manter os resfriadores a CFC-11 depois da data de eliminação).

A diferença cumulativa entre os dados do AFEAS (116.000 t) e a necessidade de refrigerante CFC-11 derivada pelo RIEP (203.000 t) indica que o CFC-11 foi produzido por fabricantes de países do Artigo 5 que não se reportam à AFEAS e a demanda cumulativa.

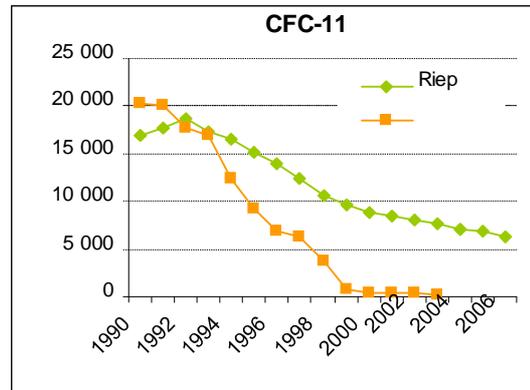


Figura 1-18 – Comparação da demanda de CFC-11 entre vendas do AFEAS e cálculos do RIEP

Ao comparar as vendas declaradas pelo AFEAS e a demanda calculada pelo RIEP, o efeito de estoque de 1990 a 1995 parece óbvio. Ao fazer a soma do CFC-12 vendido de 1990 a 2006 e da demanda derivada para o mesmo período, o RIEP indica 1.236.000 t e o AFEAS indica 1.069.000 t (1990 a 2003), levando a uma diferença desprezível nesses 13 anos. Isso parece confirmar que vendas e usos estão desconectados quando a regulamentação proíbe a venda de refrigerante e tolera a operação de sistemas de refrigeração depois do fim da comercialização do refrigerante.

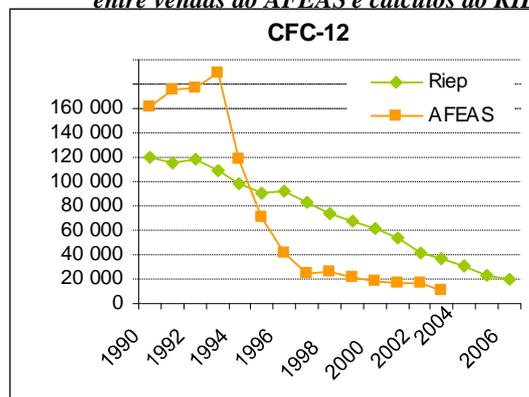


Figura 1-19 Comparação da demanda de CFC-12 entre vendas do AFEAS e RIEP.

O CFC-115 é um dos dois componentes do R-502.

A demanda acumulada entre 1990 e 2006 é 82.000 t, comparada à demanda acumulada de 75.000 t.

Considerando um efeito de estoque iniciado em 1989, a diferença entre a demanda acumulada e a demanda é muito pequena.

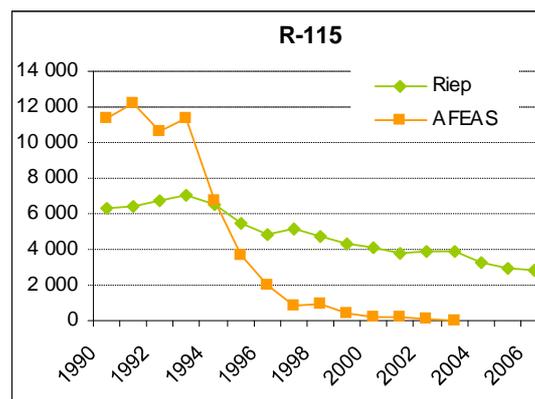


Figura 1-20 Comparação da demanda de CFC-115 entre dados do AFEAS e cálculos do RIEP.

Demanda por HCFC

A comparação entre a demanda por HCFC-22 e as vendas de HCFC-22 por fabricantes que se reportam ao AFEAS mostra claramente o impacto da produção de HCFC-22 nos países em desenvolvimento. Esta é certamente uma razão pela qual o AFEAS parou no fim de 2009 para fazer este relatório para HCFC-22. Parece que a maior parte é produzida por fabricantes do AFEAS.

A produção cumulativa reportada pelo AFEAS de 1990 a 2006 é de 3.245.000 toneladas, e as necessidades cumulativas calculadas pelo RIEP são de 4.600.000 toneladas.

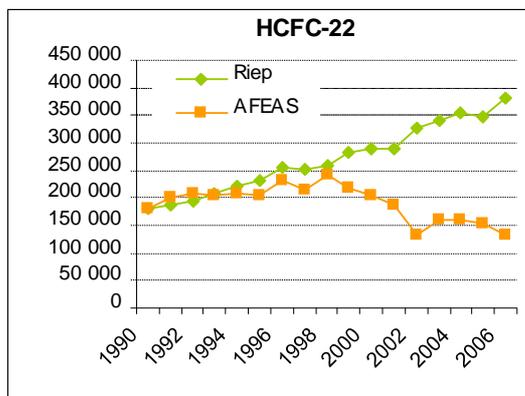


Figura 1-21 — Comparação da demanda por HCFC-22 entre dados do AFEAS e cálculos do RIEP

Demanda por HFC

A demanda por HFC-134a calculada pelo RIEP é muito próxima das declarações de vendas.

A taxa de crescimento é semelhante e os valores acumulados de 1990 a 2006 são praticamente iguais: 1.181.000 toneladas para as vendas totais (RIEP) e 991.000 toneladas para a demanda acumulada (AFEAS), que ainda representa uma diferença de 15%. Um dos principais problemas é verificar se as taxas de emissão de sistemas MAC foram reduzidas efetivamente como no modelo do RIEP desde 2000.

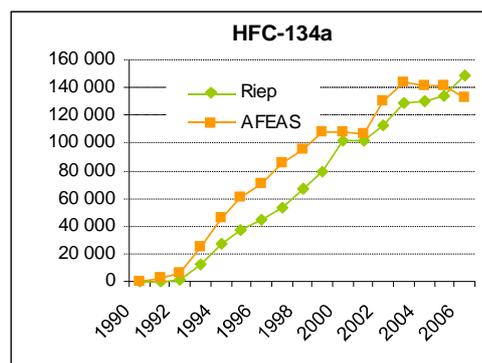


Figura 1-22 Comparação da demanda por HFC-134a entre dados do AFEAS e cálculos do RIEP

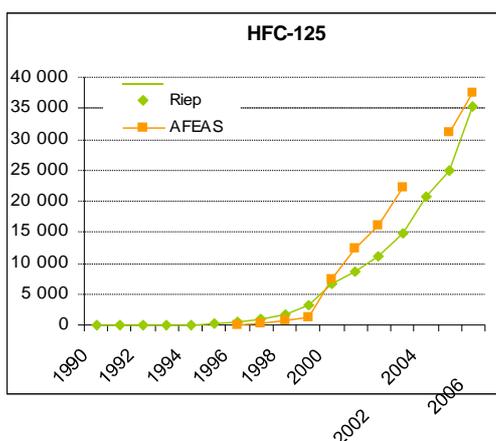
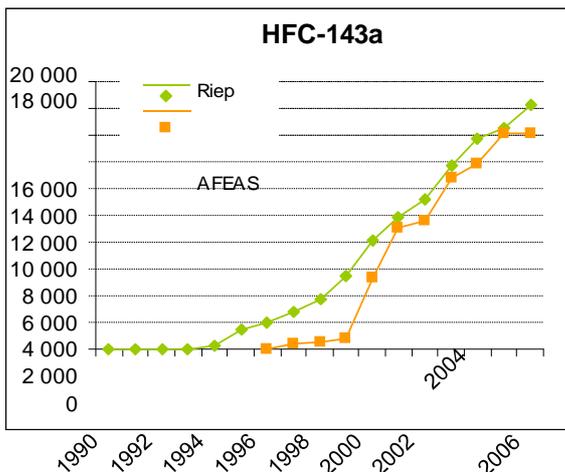


Figura 1-23 Comparação da demanda por HFC-125 entre dados do AFEAS e cálculos do RIEP

O HFC-125 é usado em misturas de refrigerantes como R-404A, R-507, R-410A e R-407C.

A tendência é a mesma entre as vendas reportadas pelo AFEAS e a demanda calculada pelo RIEP. Pode-se perceber que mesmo que não haja dados do AFEAS para 2003, a derivação do RIEP leva a uma avaliação semelhante das necessidades de HFC-125 em 2006. Esses resultados confirmam que suposições sobre mudanças de refrigerante são boas e que o HFC-125 é fabricado apenas por fabricantes do AFEAS.



O HFC-143a é usado em misturas de refrigerante (R-404A e R-507) para aplicações de baixa temperatura em refrigeração comercial e principalmente na Europa.

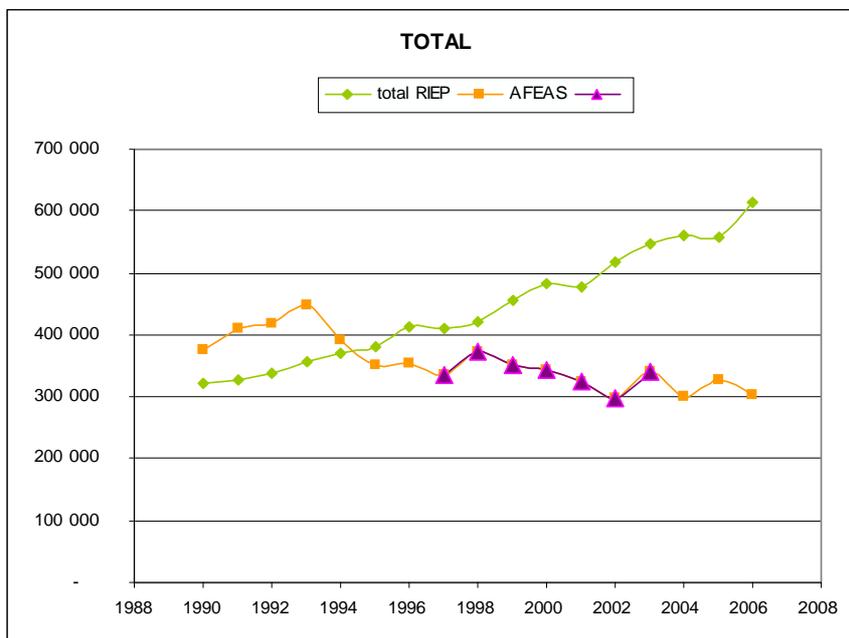
A tendência é a mesma entre vendas, conforme relatadas pelo AFEAS, e demanda, conforme calculadas pelo RIEP. Assim, as lições da comparação são idênticas as aprendidas para o HFC-125.

Figura 1-24 Comparação da demanda por HFC-143a entre dados do AFEAS e cálculos do RIEP

Demanda total

A tendência mostrada pelo RIEP indica a preponderância das vendas de HCFC-22, que gera a diferença entre os dados do AFEAS e os cálculos do RIEP desde 1998. Como mostram os gráficos anteriores que analisam as vendas e a demanda refrigerante a refrigerante, a única diferença significativa entre dados do AFEAS e cálculos do RIEP está relacionada ao HCFC-22.

Figura 1-25 – Comparação entre dados de venda do AFEAS e necessidades de refrigerante calculadas pelo RIEP



2. Método de cálculo, dados e bancos de dados

2.1 Métodos de inventário de refrigerantes e cálculo de emissões para a indústria de refrigeração

A UNFCCC recolhe todos os anos os inventários nacionais de gases de efeito estufa dos países signatários. Três métodos, Tier 1, Tier 2 e Tier 3 são propostos pelas diretrizes do IPCC para ajudar os países a fazer seus inventários. As emissões da indústria de refrigeração e ar-condicionado são inventariadas pelas vendas de refrigerantes ou pelas vendas de todos os equipamentos de refrigeração e ar condicionado.

Os seis principais setores de refrigeração e ar condicionado (RAC) são: Os seis principais setores de refrigeração e ar condicionado (RAC) são:

- Refrigeração doméstica
- Refrigeração comercial (sistemas centralizados, grupos de condensação e equipamentos autônomos)
- Processamento industrial e de alimentos
- Refrigeração de transporte
- Ar condicionado estacionário
- Ar condicionado móvel

Esta seção apresenta as metodologias propostas pelas diretrizes do IPCC para a estimativa das emissões de GEE. O modelo RIEP desenvolvido pela CEP é uma abordagem "bottom-up" baseada na metodologia Tier2a. Algumas melhorias foram introduzidas no presente relatório de inventário de 2006.

O método Tier 2 do IPCC

As Diretrizes do IPCC de 1996 fornecem instruções passo a passo para o estabelecimento de inventários nacionais de gases de efeito estufa: "instruções para a montagem, documentação e transmissão de dados de inventário nacional completos de forma consistente".

Dois métodos de cálculo foram desenvolvidos para a estimativa das emissões de gases fluorados de efeito estufa e seus substitutos para os setores de refrigeração e ar-condicionado, os métodos Tier 1 e Tier 2. O método Tier 3 é baseado no acompanhamento real e na medição de emissões de fontes pontuais e não é usado em refrigeração, uma vez que as fontes são difusas [IPC06].

Uma vez que o RIEP é baseado no TIER 2 e em suas melhorias, faz-se necessário apresentar a metodologia Tier 2. Esse método calcula as emissões reais de cada produto químico individual em determinado ano e por aplicação. Ele leva em consideração que pode haver um atraso considerável entre o momento em que o fluido é produzido e carregado no equipamento e o momento em que é liberado para a atmosfera.

Em primeiro lugar, estima o consumo de cada produto químico individual, por aplicação, a fim de estabelecer o volume global do qual as emissões se originam. Uma aplicação pode usar vários produtos químicos; normalmente, em refrigeração, misturas de refrigerantes são utilizadas em diversas aplicações. Elas têm de ser inventariadas componente por componente para relatórios da UNFCCC.

Esse método pode ser implementado de duas maneiras diferentes: a abordagem "bottom up" (baseada em aplicação) ou a abordagem "top down" (derivada do consumo nacional).

Em uma abordagem "bottom up", avalia-se o consumo de determinado refrigerante com base no número de equipamentos em que o fluido é carregado, por exemplo refrigeradores, equipamentos de ar condicionado estacionário, etc. Exige o estabelecimento de um inventário do número de equipamentos carregados com substâncias inventariadas e o conhecimento de sua vida útil média, suas taxas de emissão, reciclagem, descarte e outros parâmetros. As emissões anuais são então estimadas como funções desses parâmetros durante o tempo de vida do equipamento.

Uma abordagem "top down" calcula as emissões de determinado ano com base no consumo nacional de produtos químicos: ela desagrega dados de consumo de produtos químicos em setores usando fatores de distribuição e, em seguida, aplica fatores de emissão dependentes do tempo. O acesso a esses dados pode ser muito difícil devido a questões de confidencialidade. Embora em alguns casos os produtores possam enviar relatórios a seus governos, a quantidade de um fluido que é vendida em um setor específico, em outros casos, quando o produto químico é vendido por muitos distribuidores antes de chegar a sua aplicação, pode ser difícil coletar os dados correspondentes necessários [IPC00]. Nesses casos, a estimativa de fatores de distribuição baseia-se em avaliações de especialistas.

Nas diretrizes de 2006 do IPCC, o balanço de massa e as abordagens de fator de emissão foram introduzidas. O método Tier 1 trata de todo o setor de refrigeração e ar condicionado; o método Tier 2 requer informações para cada tipo de equipamento nos seis setores de aplicação definidos acima.

Para a abordagem de balanço de massa, as emissões são calculadas da seguinte maneira:

$\begin{aligned} \text{Emissões} = & \text{Vendas anuais de novos produtos químicos} - \text{Carga total de novos equipamentos} \\ & + \text{Carga total original dos equipamentos aposentados} \\ & - \text{quantidade de destruição intencional} \end{aligned}$	(2.1)
---	-------

As limitações à aplicação da Equação (2.1) aos sistemas MAC serão exploradas nos próximos parágrafos.

As emissões de refrigerante de sistemas de refrigeração e ar condicionado ocorrem em três níveis principais: emissões durante o processo de carga, emissões provenientes do banco existente e emissões no descarte do equipamento.

A abordagem de fator de emissão adiciona as emissões relacionadas com a gestão de recipientes $E_{\text{containers},t}$ aos citados acima. As equações para essa abordagem são fornecidas abaixo.

As emissões totais de determinado refrigerante em um ano t $E_{\text{total}, t}$ são dadas pela Equação (2.2)

$$E_{\text{total}, t} = E_{\text{containers}, t} + E_{\text{charge}, t} + E_{\text{lifetime}, t} + E_{\text{end-of-life}, t} \quad (2.2)$$

Em que,

$E_{\text{containers},t}$	Emissões relacionadas à gestão dos recipientes de refrigerante
$E_{\text{charge},t}$	Emissões que ocorrem durante o processo de carga de novos equipamentos
$E_{\text{lifetime},t}$	Emissões que ocorrem durante a vida útil dos equipamentos
$E_{\text{end-of-life},t}$	Emissões que ocorrem no descarte dos equipamentos

Emissões relacionadas à gestão de recipientes de refrigerante

As emissões na fase de fabricação do fluido ocorrem a partir de matérias-primas em usinas de processamento químico. O bom design e operação da usina leva a níveis relativamente baixos de emissões [IPC05]. Essas emissões não são contabilizadas nos métodos em discussão.

Uma vez fabricados, os fluidos são carregados em grandes recipientes ou em cilindros individuais. Eles são, portanto, entregues aos fabricantes de produtos em quantidades a granel ou em recipientes menores. As emissões podem ocorrer neste nível de manipulação de fluidos: a divisão do refrigerante a granel de grandes recipientes para volumes menores de refrigerante. Resíduos de capacidade são também considerados uma grande perda durante o manuseio do refrigerante. Os "resíduos" consistem no líquido e no vapor dentro do recipiente que não podem ser extraídos devido ao equilíbrio de pressão entre o vapor (resíduo de vapor) e a fase líquida remanescente no volume de refrigerante (resíduo líquido).

As emissões relacionadas com a gestão de recipientes são consideradas entre 2 e 10% do mercado total de refrigerante [IPC06].

$$E_{\text{containers}} = RM_t \cdot \frac{c}{100} \quad (2.3)$$

Em que,

RM_t O mercado de refrigerante para novos equipamentos e manutenção em ano t
 c O fator de emissão da gestão de recipientes de refrigerante expresso em percentagem

Emissões que ocorrem no momento da carga de novos equipamentos

Nesta fase, as emissões ocorrem quando os recipientes de refrigerante são conectados ou desconectados do equipamento que recebe a carga. Essas emissões são normalmente mais elevadas para equipamentos montados e carregados em campo do que para os produzidos em fábrica. Por exemplo, essas emissões incluem as que ocorrem quando as mangueiras e válvulas são conectadas ou desconectadas [CLO05].

Todos os sistemas carregados em um país em determinado ano t, incluindo aqueles que são exportados são considerados para o cálculo da $E_{\text{charge, t}}$ como mostra a Equação (2,4). Sistemas importados não são levados em conta [CLO05].

$$E_{\text{charge}} = M_t \cdot \frac{k}{100} \quad (2,4)$$

Em que,

M_t A quantidade de refrigerante carregada em novos equipamentos no ano t
 k O fator de emissão que ocorre durante a montagem, expresso em percentagem; vai de 2 a 5%.

Emissões que ocorrem durante a vida útil do equipamento

Para a maioria das aplicações, as maiores emissões ocorrem particularmente durante a fase de uso e dependem do tipo de aplicação. Por exemplo, refrigeradores domésticos mostram taxas de emissão muito baixas durante sua vida útil devido à sua tecnologia hermeticamente fechada, ao passo que sistemas centralizados no setor de refrigeração comercial experimentam as maiores taxas anuais de emissão, até 30% de sua carga inicial. Essas emissões se originam a partir de vazamentos de peças, juntas e vedações, mas também de rupturas de tubos e do manuseio do refrigerante durante as operações de manutenção. Essas taxas variam dependendo da aplicação e do país, da tecnologia, de condições operacionais e da qualidade do serviço. As emissões são calculadas como mostra a Equação (2.5) e incluem as que ocorrem durante a manutenção.

$E_{\text{leakage}} = B_t \cdot \frac{x}{100}$	(2.5)
--	-------

Em que,

B_t O banco de refrigerante contido em todos os equipamentos existentes no ano t para todas as idades
 x O fator de emissão do vazamento anual do banco que ocorre no ano t, dado em percentagem

Emissões que ocorrem no descarte do equipamento

Emissões de equipamentos em fim de vida dependem das regulamentações do país que afetam a eficiência de recuperação no momento do descarte. Os parâmetros utilizados para o cálculo dessas emissões são mostrados na Equação (2.6).

$$E_{\text{end-of-life}} = M_{t-d} \cdot \frac{p}{100} \cdot \left(1 - \frac{\zeta_{\text{end-of-life,t}}}{100}\right) \quad (2.6)$$

Em que,

M_{t-d}	A quantidade de refrigerante carregado em novos equipamentos em ano t-d, chegado ao fim de vida na idade d
p	A carga restante no equipamento descartado, expressa em porcentagem da carga inicial
$\zeta_{\text{end-of-life,t}}$	A eficiência de recuperação em fim de vida, expressa em porcentagem da carga restante no sistema

No fim de vida do equipamento, existem vários cenários para a manipulação do fluido:

- O fluido não é recuperado ($\zeta_{\text{end-of-life,t}} = 0$) e, assim, a quantidade de refrigerante remanescente no equipamento constitui as emissões de fim de vida
- O fluido é recuperado. Depois disso, ele pode ser considerado um resíduo, e, por conseguinte, ser destruído, emitido ou descartado. Como alternativa, o fluido recuperado pode ser regenerado e reciclado.

Escolha do método para os setores de refrigeração e ar condicionado

Os setores de refrigeração e ar condicionado são desmembrados em seis subsetores. No entanto, devido à diversidade de equipamentos que podem ser encontrada dentro do mesmo setor, um maior nível de desmembramento é necessário para calcular os fatores de emissão e os dados de atividade, como a vida útil do equipamento, a carga média e o tipo de refrigerante. Por exemplo, se considerarmos o setor de refrigeração comercial, o fator de emissão varia amplamente entre os diferentes sistemas de refrigeração que podem ser encontrados no âmbito do setor: o fator de emissão para equipamentos independentes está na faixa de 1% e, como já foi mencionado, pode chegar a 30% para grandes sistemas centralizados.

A **abordagem de balanço de massa** (Equação 2.1) apresenta limitações, especialmente quando a frequência de recarga não é anual para sistemas MAC: o que entra para a manutenção em determinado ano não é equivalente ao que foi emitido. Um atraso de 5 a 8 anos pode ser observado. Em um mercado maduro, onde a carga média do sistema MAC não muda e as características de emissão também são constantes ao longo do tempo, este modelo pode ser aplicado, pois as características dos veículos são idênticas e o estoque de refrigerante não muda. Isso significa que o que foi emitido 8 anos atrás é igual ao que é emitido neste ano. Isso não é muito realista em decorrência das melhorias em estanqueidade observadas nos sistemas MAC desde a introdução do HFC-134a. Além disso, é totalmente irrealista quando o crescimento do mercado é significativo, como na Europa desde 1995 e agora na Ásia.

A Figura 2-1 mostra uma comparação dos totais de emissões para sistemas MAC, calculados pelas abordagens de fator de emissão e de equilíbrio de massa.

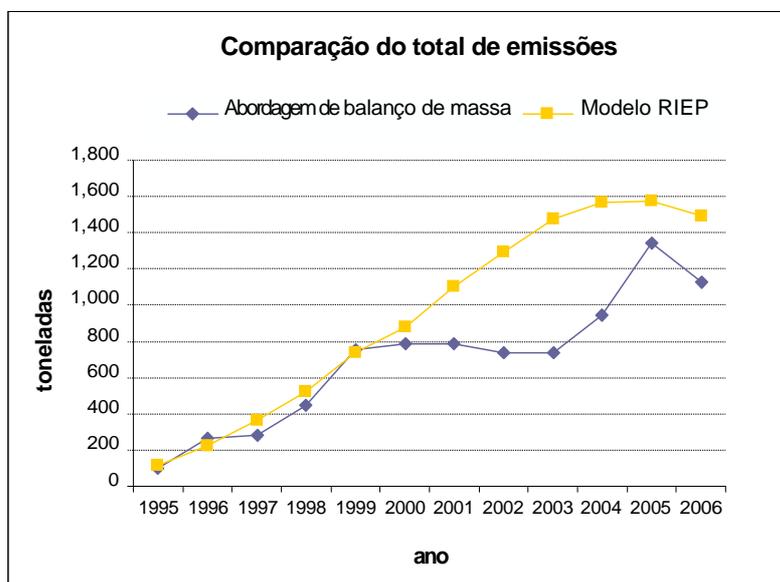


Figura 2-1 – Comparação das emissões totais baseada nas abordagens de balanço de massa e fator de emissão para sistemas MAC na França.

A abordagem de balanço de massa subestima as emissões provenientes de sistemas MAC, como pode ser visto na Figura 2-1. A diferença entre os dois métodos se deve principalmente ao atraso de tempo entre as emissões e consumo de manutenção, como explicado anteriormente.

O método de cálculo RIEP

O Centro de Energia e Processos (CEP) desenvolveu um banco de dados global para a aplicação de refrigeração e ar condicionado, contendo os dados de atividade e fatores de emissão necessários para a elaboração de inventários de refrigerante para os países e regiões das Nações Unidas. Um modelo de cálculo, chamado RIEP (Inventários de Refrigerante e Previsões de Emissões), foi desenvolvido com base em uma abordagem *bottom up*, conforme definida em IPCC 2000 [IPC00]. O trabalho realizado pelo CEP nos últimos oito anos foi levado em conta para a atualização do método Tier 2, conforme descrito nas diretrizes de 2006 do IPCC [CLO05], [ASH04]. Os subsetores abrangidos são aqueles listados anteriormente, definidos pelas diretrizes de 2006 do IPCC, e o desmembramento conduz à definição de 35 subsetores.

Melhorias do método de cálculo RIEP

Uma série de melhorias do método de cálculo RIEP foram feitas por S. Saba em seu trabalho de tese [SAB09]. Essas melhorias são importantes para descobrir com maior precisão dados de atividade, como vida útil do equipamento e fatores de emissão.

Fatores de emissão

As equações usadas para a abordagem de fator de emissão do método Tier 2 são a base do método de cálculo geral implementado no RIEP. Ainda assim, algumas particularidades podem aparecer para cada subsetor que exigem parâmetros de entrada específicos e, portanto, algumas modificações no algoritmo de cálculo principal. O método foi adaptado para os subsetores com base na disponibilidade dos dados da atividade e dos fatores de emissão.

Por exemplo, para sistemas comerciais centralizados, resfriadores e refrigeração industrial, fatores de emissão são estabelecidos com base em faturas de compra de refrigerantes. A quantidade de refrigerante comprado inclui o refrigerante usado para substituir as perdas de vazamentos e as perdas durante a manutenção do sistema e, portanto, ambos os tipos de emissões são considerados no fator de emissão, que é então aplicado ao banco de refrigerante. A mesma metodologia não é possível para sistemas MAC ou ar condicionado estacionário. As fontes de informação dos fatores de emissão para o setor são escassas. Alguns estudos apresentam números sobre a taxa de vazamento (LFR) inicial e outros fornecem números sobre a LFR de uma frota de veículos de diferentes idades.

O método de cálculo implementado no RIEP considera um fator de emissão global, incluindo emissões "regulares" e "irregulares" resultantes de acidentes rodoviários e de acidentes em garagens.

Vazamentos regulares são os vazamentos relacionados com as juntas, vedações e cada local onde se possa encontrar folgas entre as peças metálicas com um selo elastomérico. Esses vazamentos regulares aumentam ao longo do tempo devido ao desgaste e à vibração e, por isso, o fator de emissão aumenta ao longo da vida útil do veículo. Por que um fator de degradação tem de ser levado em conta em vez de um valor médio? Como os vazamentos regulares são conhecidos a partir de teste em novos sistemas, esses valores são baixos e não explicam as vendas do refrigerante dedicadas a manutenção no setor de ar condicionado móvel. O uso de um LFR inicial que aumenta com o tempo, em vez de um valor médio, implica um cronograma diferente para as operações de manutenção. Presumindo-se um fator de degradação, o veículo passará por manutenção no sexto ano e depois no nono, enquanto se uma única média foi considerada o veículo passará por manutenção a cada 4 anos.

Em resumo, para os sistemas MAC, o fator de emissão é dividido em dois fatores:

- "LFR regular", com um valor inicial dado por ano de produção, associado a um fator de degradação, e
- "LFR irregular", considerando acidentes.

Um algoritmo complementar é implementado para a manutenção, considerando as emissões que ocorrem durante o $E_{\text{servicing},t}$ de manutenção.

Troca de refrigerante por retrofit

O modelo RIEP identifica operações de *retrofit* para os setores em que estão ocorrendo e as emissões $E_{\text{retrofit},t}$ correspondentes.

O *retrofit* de sistemas de refrigeração consiste em substituir um refrigerante anterior (CFC ou HCFC), cujo uso não é mais possível, por regulamentação ou indisponibilidade de vendas, por um novo refrigerante adaptado ao sistema e em conformidade com o regulamento. A operação consiste em recuperar o refrigerante "velho" do sistema de refrigeração, evacuar o sistema e recarregar o sistema com o novo refrigerante. Para a operação de recuperação, a eficiência de recuperação é definida, com a percentagem complementar sendo emitida. A quantidade de refrigerante a ser substituída é calculada com base no cronograma de *retrofit* do banco restante deste refrigerante; para cada ano, uma percentagem do banco de refrigerante é substituída.

Curva de aposentadoria em vez de tempo médio de vida útil

Outra modificação aplicada ao modelo RIEP é a utilização de uma curva de aposentadoria para dar conta de equipamentos descartados em vez do tempo médio de vida útil aplicado na versão anterior. As equações modificadas considerando a curva de aposentadoria são apresentadas agora. As equações relacionadas ao tempo de vida médio são retiradas de Clodic [CL005] e Ashford et al. [ASH04].

A seguir, são apresentadas as equações para vida útil média e curvas de aposentadoria:

$$B_t = \sum_{v=0}^{t-1} M_v \tag{2.7}$$

$$B_t = \sum_{v=0}^{t-1} M_v \cdot r_{v,t} \tag{2.8}$$

Em que,

- B_t O banco de refrigerante no ano « t » expresso em quilogramas
- M_v A quantidade de refrigerante carregado em novos equipamentos para o ano de produção (vintage) v (por categoria de aplicação) expressa em quilogramas e calculada pela multiplicação das vendas nacionais de equipamentos pela carga média do equipamento
- ml A vida útil média do sistema
- Ml A vida útil máxima do sistema usando uma função de aposentadoria
- $r_{v,t}$ A base instalada restante de equipamentos do ano de produção v no ano t, expressa como uma fração do número inicial

Assim, pode ser percebido que o cálculo do banco requer o conhecimento do tempo de vida médio para a Equação (2.7) ou o estabelecimento de uma curva de aposentadoria para a Equação (2.8). As vendas nacionais de equipamentos, bem como sua carga média, também devem ser conhecidas. O acesso a esses dados de atividade pode ser difícil, especialmente para os anos anteriores ao Protocolo de Montreal.

Para alguns setores, como o setor de refrigeração comercial, fatores de emissão são aplicados diretamente aos bancos e a Equação (2.5) é usada para calcular as emissões ao longo da vida útil, tendo em conta, indiretamente, a curva de aposentadoria para o cálculo do banco.

Para sistemas MAC, o algoritmo apresentado na Figura 2.2 é utilizado para calcular as emissões decorrentes de manutenção, emissões regulares e emissões irregulares.

As emissões durante a vida útil são calculadas da seguinte forma, de acordo com a opção de vida útil:

- para vida útil média, Equações (2.9) e (2.10) são usadas
- ao usar uma curva de aposentadoria, as Equações (2.11) e (2.12) são escolhidas:

$$E_{regulans} = \sum_{v=0}^{t-1} (N_v \cdot LFR_{v,t}) \tag{2.9}$$

$$E_{irregulans} = \left(\sum_{v=0}^{t-1} N_v \right) \cdot EF_{irr,t} \tag{2.10}$$

* Se o sistema não estiver vazio

$$E_{regulans} = \sum_{v=0}^{t-1} (N_v \cdot r_{v,t} \cdot LFR_{v,t}) \tag{2.11}$$

* Se o sistema não estiver vazio

$$E_{irregulans} = \left(\sum_{v=0}^{t-1} (N_v \cdot r_{v,t}) \right) \cdot EF_{irr,t} \tag{2.12}$$

* Se o sistema não estiver vazio

Em que,

- N_v O número de equipamentos do ano de produção v
- LFR_v O valor de LFR do ano de produção v no ano t expresso em g/ano
- $EF_{irr,t}$ O fator de emissão para emissões irregulares no ano t expresso em g/ano
- $r_{v,t}$ A instalação restante do ano de produção v no ano t, expressa como uma fração do número inicial

As emissões de manutenção são calculadas pelas Equações (2.13) e (2.14):

$$E_{serviço,t} = \left(\sum_{v=0}^t (N_v + \frac{S_{v,t}}{100}) \right) \cdot (1 - \eta_{serviço,t}) \quad (2.13)$$

$$E_{serviço,t} = \left(\sum_{v=0}^t (N_v + \eta_{v,t} + \frac{S_{v,t}}{100}) \right) \cdot (1 - \eta_{serviço,t}) \quad (2.14)$$

** Se o ano de produção exige manutenção*

Em que,

$S_{v,t}$ A carga residual de equipamentos do ano de produção v no ano t expressa em porcentagem
 $\eta_{serviço,t}$ A eficiência de recuperação na manutenção, expressa como uma fração da quantidade contida no equipamento recarregado

O algoritmo apresentado na Figura 2.2 descreve como as emissões durante a operação de manutenção são tomadas em consideração para sistemas MAC. Esse algoritmo é aplicado a todos os anos de produção de veículos. A recarga é necessária quando o refrigerante é emitido está acima de um limiar correspondente a 50% da carga inicial.

Para cada ano j, a perda de refrigerante é calculada pelas Equações (2.9) ou (2.11). A perda é comparada com o limiar de carga de refrigerante residual, que requer a manutenção do sistema de AC devido à falta de capacidade de resfriamento.

Se a perda é maior do que essa quantidade e o sistema MAC não atingiu seu fim de vida útil, o sistema sofre de manutenção e a quantidade de refrigerante necessária para a operação de manutenção e as emissões que ocorrem durante a operação são calculadas para este ano de recarga. Após esta intervenção, o sistema está totalmente carregado de novo.

No entanto, se a perda é inferior ao limiar que exige a manutenção, não ocorre manutenção nesse ano de cálculo, que é então incrementado. As perdas calculadas para o ano seguinte são então adicionadas às anteriormente calculadas, e o limiar para a manutenção é então verificado. Se a condição de manutenção é verificada, a operação de manutenção ocorre como descrito anteriormente. Caso contrário, o ano de cálculo é incrementado novamente até que o sistema MAC chegue ao fim de vida. Como resultado desse algoritmo de cálculo, o parâmetro $s_{v,t}$ utilizado na Equação (2.13) ou (2.14) é calculado de forma dinâmica a cada ano em que o sistema passa por manutenção. O mesmo se aplica às emissões de fim de vida que são calculadas dinamicamente para este setor.

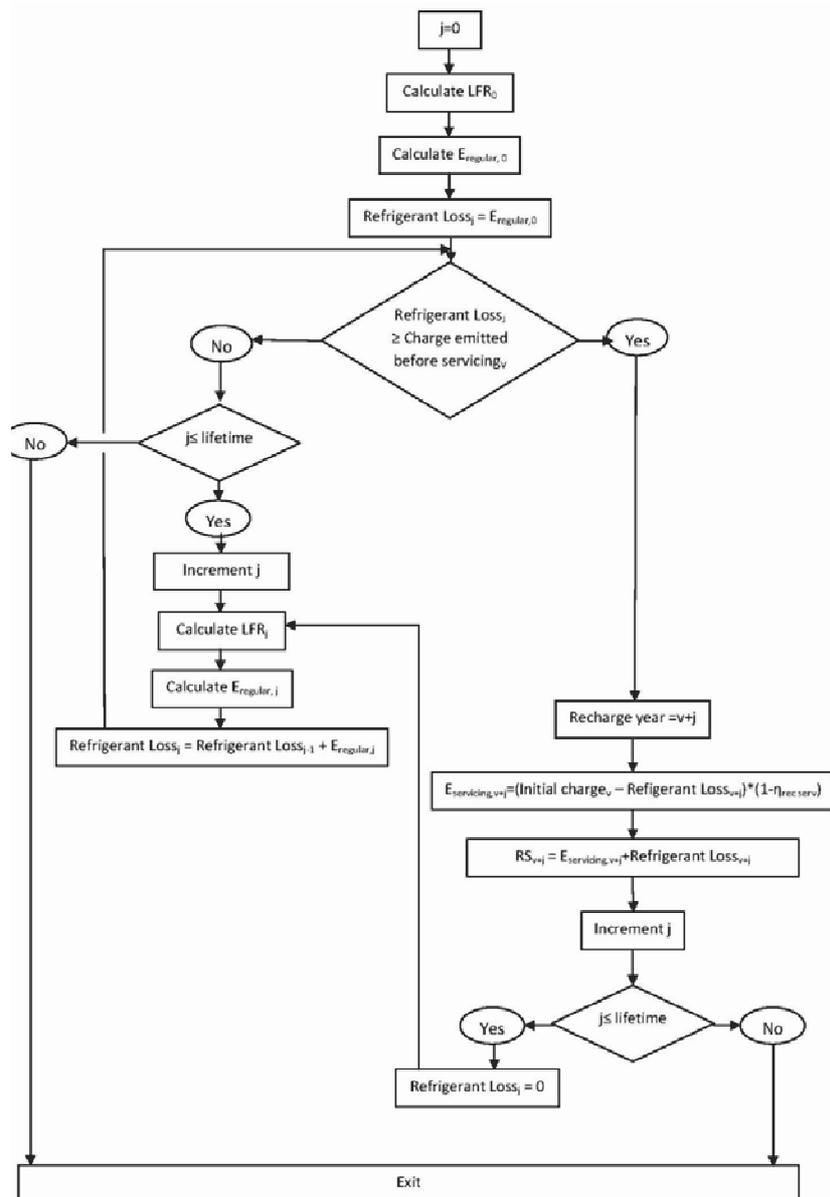


Figura 2.2 – Demanda de refrigerante para manutenção e emissões para sistemas MAC.

As emissões de *retrofit* $E_{retrofit,t}$ são calculadas usando a Equação (2.15)

$$E_{retrofit,t} = M_{refrigerant-out,t} * (1 - \eta_{end-of-life,t}) \quad (2.15)$$

Em que,

$M_{refrigerant-out,t}$

O refrigerante substituído no ano t

$\eta_{end-of-life,t}$

A eficiência de recuperação em fim de vida no ano t, expressa como uma fração da quantidade de refrigerante restante que é recuperada

As emissões totais durante a vida útil são dadas pela Equação (2.16):

$$E_{operational} = E_{regular} + E_{irregular} + E_{servicing} + E_{retrofit} \quad (2.16)$$

Excerpt of the Final Report on Global inventories of the worldwide fleets of refrigerating and air-conditioning equipment in order to determine refrigerant emissions. The 1990 to 2006 updating. ADEME/ARMINES Agreement 0874C0147– December 2009

As emissões durante a manutenção e o *retrofit* dadas pela Equação (2.17) ocorrem durante a recuperação do refrigerante. No entanto, quando o refrigerante é reintroduzido, podem ocorrer emissões. Essas emissões não aparecem nas equações fornecidas por [CLO05] ou pelas diretrizes de 2006 do IPCC 2006 e podem ser escritas da seguinte maneira:

$$E_{\text{charge (servicing-retrofit)}} = (RS_t + RR_t) \cdot \frac{k}{100} \quad (2.17)$$

Em que,

- RS_t Demanda de refrigerante para manutenção no ano t
 RR_t Demanda de refrigerante para *retrofit* no ano t
 k O fator de emissão no processo de carga, expresso em porcentagem

As emissões em fim de vida são calculadas pela Equação (2.6) quando é utilizado um tempo médio de vida útil e pela Equação (2.18) quando uma curva de aposentadoria é usada:

$$E_{\text{end-of-life}} = \sum_{v=2011}^p N_{v,t} \cdot (r_{v,t-1} - r_{v,t}) \cdot \frac{p}{100} \cdot (1 - \eta_{\text{end-of-life}}) \quad (2.18)$$

Em que,

- $r_{v,t-1}$ A instalação restante do ano de produção v no ano t-1
 $r_{v,t}$ A instalação restante do ano de produção v no ano t

Para sistemas MAC, a carga residual em fim de vida é calculada para cada ano de produção. Por isso, o valor de p na Equação (2.18) depende do ano de produção e do ano de descarte.

2.2 Refrigerantes e regulamentos

O uso de CFCs, HCFCs ou HFCs e outros refrigerantes está relacionado a cronogramas de controle, que foram ajustados continuamente desde que o Protocolo de Montreal foi ratificado. Para os países desenvolvidos (os países não incluídos no Artigo 5, conforme definido no Protocolo de Montreal), a eliminação de CFCs e HCFCs ocorrerá mais cedo do que nos países em desenvolvimento (os países do Artigo 5). Além disso, para países não incluídos no Artigo 5, a União Europeia aceitou um cronograma de controle muito mais apertado para a eliminação de CFCs (no passado) e de HCFCs.

A rápida eliminação dos CFCs na Europa e também a proibição do uso de CFC para manutenção levaram a uma adoção significativa de misturas intermediárias (misturas baseadas em HCFC) para o *retrofit* de vários sistemas de refrigeração que utilizam CFCs. O *retrofit* permite manter o valor residual do equipamento até seu fim de vida normal. É provável que o mesmo comportamento de proprietários de equipamentos seja seguido para a eliminação dos HCFCs, que serão substituídos por misturas intermediárias de HFCs. Com base nesses fatos, o RIEP inclui opções de *retrofit*, nas quais o refrigerante pode ser alterado durante a vida útil do equipamento.

Países não incluídos no Artigo 5

O cronograma de eliminação de CFCs válido para países não incluídos no Artigo 5 é apresentado na Figura 2.3. Por meio do Regulamento 3093/94 da UE, os CFCs foram eliminados um ano antes da eliminação definida no Protocolo de Montreal, ou seja, em 31 de dezembro de 1994.

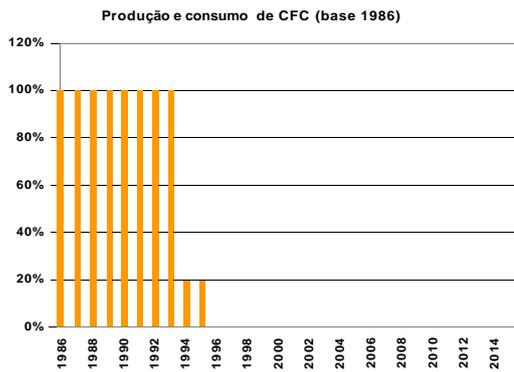


Figura 2.3 – Eliminação de CFCs em países não incluídos no A5.

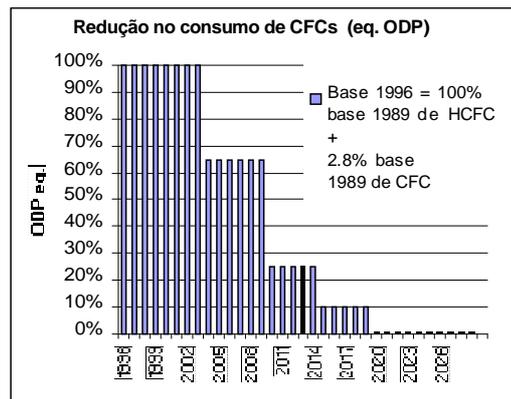


Figura 2.4 – Eliminação de HCFCs em países não incluídos no A5 (exceto UE) [MOP07]

Como indicado na Figura 2.4, os níveis de base de consumo de HCFC referem-se ao consumo de 1989 de HCFC mais o consumo de 2,8% de CFC em 1989, ponderado por ODP. Com base em determinado ODP para HCFC-22 e CFCs (0,055 e 1,0, respectivamente), o fator de 2,8% significa que se todos os CFCs fossem substituídos por HCFC-22, cerca de 55% do consumo de CFC em toneladas seria substituído por HCFC-22.

A Figura 2.3 mostra claramente que, mesmo para países não incluídos no Artigo 5, novos equipamentos podem ser fabricados, carregados com HCFC-22 e vendidos até 31 de dezembro de 2009. Normalmente, os EUA e muitos países desenvolvidos continuam a usar HCFC-22 para equipamentos de ar condicionado.

Como indica a Figura 2.5, o regulamento da UE alterou a linha de base para o consumo de HCFC pela redução das quantidades adicionais de CFCs ponderados por ODP em quase 30% (de 2,8 para 2.0%). Além disso, o momento da eliminação do HCFC foi adiantado em cerca de 7 anos.

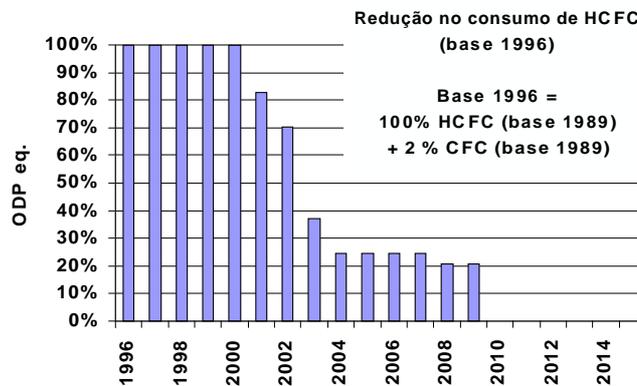


Figura 2.5 – União Europeia - (Regulamento Europeu 2037/2000).

Países do Artigo 5

O consumo e a produção de CFC (ver Figura 2.6) para países do Artigo 5 tem um atraso de 14 anos em relação aos países não incluídos no Artigo 5 (1996, comparado a 2010). Há uma possibilidade adicional de produção e consumo de 10% em comparação com o nível de 1996 para as Necessidades Internas Básicas dos países em desenvolvimento em que a produção pode ocorrer em países desenvolvidos.

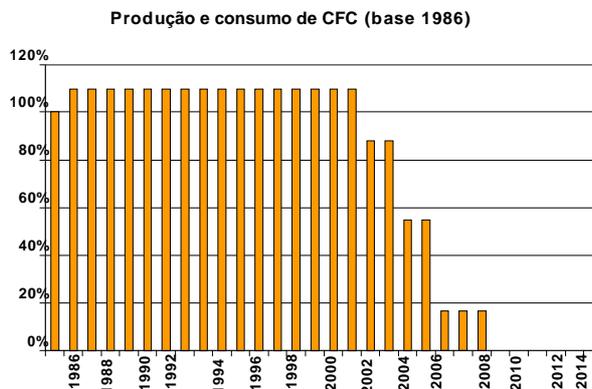


Figura 2.6 – Eliminação de CFC para países do Artigo 5.

Para a eliminação de HCFC, o cronograma do Protocolo de Montreal é um pouco mais complicado. Quando se trata do congelamento do consumo, os países do Artigo 5 têm um atraso de cerca de 15 anos (congelamento até 2016). Quanto à eliminação, é um período de atraso de 10 anos (eliminação em 2040, em contraste com 2030) para os países em desenvolvimento em comparação com os desenvolvidos.

Todas estas diferentes restrições com base em cronogramas globais de controle e regulamentações regionais e nacionais mais rigorosas implicam diferentes opções de refrigerante em países e grupos de países. As escolhas de refrigerante devem ser consideradas aplicação por aplicação. Neste projeto, dados adicionais, derivados de relatórios dos países, foram utilizados, bem como dados disponíveis em publicações.

2.3 PAGs de refrigerantes do Segundo e do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC

A Tabela 2.1 lista os principais tipos de refrigerante em uso: CFCs, HCFCs, HFCs, amônia e diferentes misturas, muitas delas misturas intermediárias utilizadas para *retrofit* de equipamentos com CFC. A Tabela 2.1 foi atualizada considerando todas as novas misturas declaradas para a ASHRAE 34. Entre essas misturas, as mais usadas são R-401A, R-409A, e R-413A para a substituição do CFC-12, R-402A e B, e R-408A para a substituição do R-502. O uso dessas misturas pode ser verificado a nível global pelas declarações de vendas do AFEAS de HCFC-124 e HCFC-142b, que são componentes específicos dessas misturas intermediárias. A lista é quase exaustiva, e leva em conta mais de 99% de todos os tipos de refrigerante em uso.

Os valores de PAG, como constam no Segundo Relatório de Avaliação do IPCC (SAR), são utilizados para os cálculos das emissões de equivalentes de CO₂ de refrigerantes, como mostra a Tabela 2.1. Os mais recentes valores científicos dos PAGs de refrigerantes são provenientes do 4º Relatório de Avaliação do IPCC. Como se pode observar a seguir, virtualmente todos são maiores que os valores de PAG publicados no 2º Relatório de Avaliação. No entanto, nos cálculos do RIEP, os valores do relatório SAR foram mantidos, porque são os utilizados para o relatório das emissões de HFC para a UNFCCC. Os PAGs de misturas foram calculados a partir dos componentes separados.

Para valores mais recentes de PAG, com base no Quarto Relatório de Avaliação e no Relatório de Avaliação do Painel Científico do PNUMA/WMO de 2010, consulte o Capítulo 2 deste relatório de 2010 do RTOC, que contém todos os valores mais recentes de PAG para substâncias puras e misturas.

Tabela 2-1 PAG e dados físicos de refrigerantes [TOC03, IPCC07]

Refrigerante		Dados físicos				PAG	
Número	Fórmula química ou composição da mistura – nome comum	Massa molecular	NPB (°C)	TC (°C)	Pc (MPa)	PAG SAR	PAG AR4
						1996	2007
11	CCl ₃ F	137,37	23,7	198,0	4,41	3 800	4750
12	CCl ₂ F ₂	120,91	-29,8	112,0	4,14	8 100	10890
22	CHClF ₂	86,47	-40,8	96,1	4,99	1 500	1810
32	CH ₂ F ₂ -fluoreto de metileno	52,02	-51,7	78,1	5,78	650	675
115	CClF ₂ CF ₃	154,47	-38,9	80,0	3,12	9 300	7370
116	CF ₃ CF ₂ -perfluoretano	138,01	-78,1	19,9	3,04	9 200	12200
123	CHCl ₂ CF ₃	152,93	27,8	183,7	3,66	90	77
124	CHClFCF ₃	136,48	-12,0	122,3	3,62	470	609
125	CHF ₂ CF ₃	120,02	-48,1	66,1	3,63	2 800	3500
134a	CH ₂ FCF ₃	102,03	-26,1	101,1	4,06	1 300	1430
143a	CH ₃ CF ₃	84,04	-47,2	72,7	3,78	3 800	4470
152a	CH ₃ CHF ₂	66,05	-24,0	113,3	4,52	140	124
245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	134,05	15,1	154,0	4,43		1030
290	CH ₃ CH ₂ CH ₃ - propano	44,10	-42,1	96,7	4,25		
401A	R-22/152a/124(53/13/34)-MP39	94,44	-32,9	107,3	4,61	973	
401B	R-22/152a/124(61/11/28)-MP66	92,84	-34,5	105,6	4,68	1 062	
402A	R-125/290/22(60/2/38)-HP80	101,55	-48,9	75,9	4,23	2 250	
402B	R-125/290/22(38/2/60)-HP81	94,71	-47,0	82,9	4,53	1 796	
403A	R-290/22/218(5/75/20)	91,99	-47,7	87,0	4,7	2530	
403B	R-290/22/218(5/56/39)	103,26	-49,2	79,6	4,32	3570	
404A	R-125/143a/134a(44/52/4)	97,60	-46,2	72,0	3,74	3 260	
405A	R-22/152a/142b/C318(45/7/5.5/42.5)	111,91	-32,6	106,1	4,29	4480	
406A	R-22/600a/142b(55/4/41)	89,86	-32,5	116,9	4,96	1560	
407A	R32/125/134a(20/40/40)	90,11	-45,0	81,8	4,52	1770	
407B	R32/125/134a(10/70/20)	102,94	-46,5	74,3	4,13	2290	
407C	R-32/125/134a(23/25/52)	86,20	-43,6	85,8	4,63	1 526	
407D	R-32/125/134a(15/15/70)	90,96	-39,2	91,2	4,47	1430	
407E	R-32/125/134a(25/15/60)	83,78	-42,7	88,3	4,7	1360	
408A	R-125/143a/22(7/46/47)-FX-10	87,01	-44,6	83,1	4,42	2 649	
409A	R-22/124/142b(60/25/15)-FX-56	97,43	-34,4	109,3	4,69	1 288	
410A	R-32/125(50/50)-Suva9100;AZ-20	72,58	-51,4	70,5	4,95	1 730	
411A	R-1270/22/152a(1.5/87.5/11)	82,36	-39,5	99,1	4,95	1330	
412A	R-22/218/142b(70/5/25)	92,2	-38	107,2	4,9	1850	

Refrigerante		Dados físicos				PAG	
Número	Fórmula química ou composição da mistura – nome comum	Massa molecular	NPB (°C)	TC (°C)	Pc (MPa)	PAG SAR	PAG AR4
						1996	2007
413A	R-218/134a/600a(9/88/3)	103,95	-33,4	96,6	4,07	1770	
414A	R-22/124/600a/142b(51/28.5/4/16.5)	96,93	-33,0	112,7	4,68	1200	
415A	R-22/152a(82/18)	81,91	-37,2	102,0	4,96		
416A	R-134a/124/600(59/39.5/1.5)	111,92	-24,0	107,0	3,98		
417A	R-125/134a/600(46.6/50/3.4)	106,75	-39,1	87,3	4,04		
418A	R-290/22/152a(1.5/96/2.5)	84,60	-41,7	96,2	4,98		
419A	R-125/134a/E170(77/19/4)	109,3	-42,6	79,3	4		
420A	R-134a/142b(80.6/19.4)	101,84	-24,9	104,8	4,11		
421A	R-125/134a(58/42)	111,75	-40,7	82,9	3,88		
422A	R-125/134a/600a(85.1/11.5/3.4)	113,60	-46,5	71,8	3,92		
427A	R-32/125/143a/134a(15/25/10/50)	90,44	-43,0	85,1	4,39	1827	
500	R-12/152a(73.8/26.2)	99,30	-33,6	102,1	4,17	6 014	
502	R-22/115(48.8/51.2)	111,63	-45,2	80,2	4,02	5 494	
503	R-23/13(40.1/59.9)	87,25	-87,8	18,4	4,27	11 700	
507A	R-125/143a(50/50)-AZ-50	98,86	-46,1	70,5	3,79	3 300	
1270	CH ₃ CH=CH ₂ – propileno	42,08	-47,7	92,4	4,66		
600a	CH(CH ₃) ₂ -CH ₃ – isobutano	58,12	-11,7	134,7	3,64		
717	NH ₃ – amônia	17,03	-33,3	132,3	11,33		
744	CO ₂	44,01	-78,4	31,0	7,38		1

NBP = ponto de ebulição normal; Tc = temperatura crítica; Pc = pressão crítica; PAG = potencial de aquecimento global (para integração de 100 anos).

O cálculo do PAG para misturas é baseado nos valores de PAG de refrigerantes puros e em sua concentração de massa na mistura. Todos os valores para misturas provêm do Relatório TOC de 2006 [TOC06].

2.4 Consistência e melhoria da qualidade dos dados

A demanda de refrigerante calculada pelo RIEP para cada refrigerante, incluindo carga de novos equipamentos e recarga da base instalada para compensar as emissões de refrigerante, é comparada com as vendas do refrigerante declaradas pelos distribuidores de refrigerante.

A Equação (2.19) calcula a demanda de refrigerante, que é então comparada com os números declarados.

$$(2.19) \quad R_t = \left(1 + \frac{c}{100} + \frac{k}{100}\right) \cdot (RP_t + RS_t + RR_t)$$

(2.19)

Em que,

R_t A demanda total de refrigerante no ano t, expressa em quilogramas

RP_t A demanda total de refrigerante para novos equipamentos que são carregados no país, expressa em quilogramas

RS_t A demanda de refrigerante para manutenção no ano t, expressa em quilogramas

RR_t A demanda de refrigerante para *retrofit* no ano t, expressa em quilogramas

c O fator de emissão do gerenciamento de recipientes de refrigerante, expresso em porcentagem

k O fator de emissão que ocorre durante a montagem, expresso em porcentagem

A demanda por refrigerante para novos equipamentos é dada pela Equação (2.20)

$$RF_t = \sum_{i=1}^6 (S_{prod,i,t} + m_{i,t}) \quad (2.20)$$

Em que,

$S_{prod,i,t}$ A produção nacional de equipamentos para a aplicação i no ano t
 $m_{i,t}$ A carga média do equipamento para a aplicação i no ano t, expressa em quilogramas

A demanda por refrigerante para manutenção é dada pela Equação (2.21) quando o fator de emissão é aplicável ao banco do setor e pela Equação (2.22) nos outros casos.

$$RS_t = \sum_{i=1}^6 E_{lifetime,i,t} \quad (2.21)$$

Em que,

$E_{lifetime,i,t}$ As emissões totais conforme calculadas pela Equação (2.22) quando o fator de emissão é aplicável ao banco do setor I

$$RS_t = \sum_{i=1}^6 \left[\left(\sum_{v=1}^6 E_{regular,i,t,vintage} + (1 - \eta_{serv,i,t}) \cdot RemainingCharge \right) + E_{irregular,i,t} \right] \quad (2.22)$$

*Se o ano de produção exige manutenção

Em que,

$E_{regular,i,t,vintage}$ Perdas do ano de produção v desde a última recarga até o ano t, se o ano de produção exige recarga e para a aplicação I
 $\eta_{serv,i,t}$ A eficiência de recuperação na manutenção no ano t para a aplicação I
 $RemainingCharge$ A carga remanescente no equipamento no momento da manutenção que é recuperada
 $E_{irregular,i,t}$ As emissões irregulares no ano t para a aplicação I

A demanda por refrigerante para *retrofit* RR_t corresponde à quantidade de refrigerante introduzida no sistema durante a operação de *retrofit*.

As demandas de refrigerante calculadas para cada refrigerante e para cada aplicação são somadas para derivar a demanda nacional por refrigerante ou a demanda global. Essas demandas são comparadas às declarações nacionais de fabricantes e distribuidores de refrigerante ou comparadas aos dados de vendas do AFEAS em nível mundial.

Observação: É necessário mencionar que o AFEAS decidiu parar sua publicação anual de vendas de refrigerante no fim de 2009, porque as produções da China, da Índia, da Rússia e do Brasil não são publicadas e, portanto, um desequilíbrio entre as vendas “reais” e os dados do AFEAS está se tornando cada vez mais significativo.

As verificações cruzadas podem ser realizadas tanto por país quanto mundialmente. Se os inventários de refrigerante e as emissões relacionadas forem adequadamente determinados, a diferença entre os números relatados e as vendas de refrigerante calculadas será pequena. Caso contrário, serão necessárias análises adicionais.

Consistência para equipamentos de refrigeração em nível mundial

Para alcançar alta precisão nos tamanhos de inventários de refrigerante, o primeiro passo necessário é a coleta de dados confiáveis para os números de equipamentos. Felizmente, dados estatísticos anuais estão disponíveis para quase todos os equipamentos de produção em massa. Detalhes sobre a disponibilidade de tais números por aplicação são fornecidos nos capítulos correspondentes. Quando os dados não estão disponíveis, correlações entre a população de vendas e a riqueza dos países são estabelecidas para derivar os dados que faltam. Alguns dados foram publicados por associações de fabricantes, e alguns estão disponíveis em estudos de marketing que podem ser adquiridos de empresas especializadas. Os dados sobre as vendas anuais de equipamentos permitem derivar dados sobre produção e venda em nível nacional para quase todos os países da OCDE, e também a nível global, quando se baseiam em dados de produção (ver Figura 2.7).

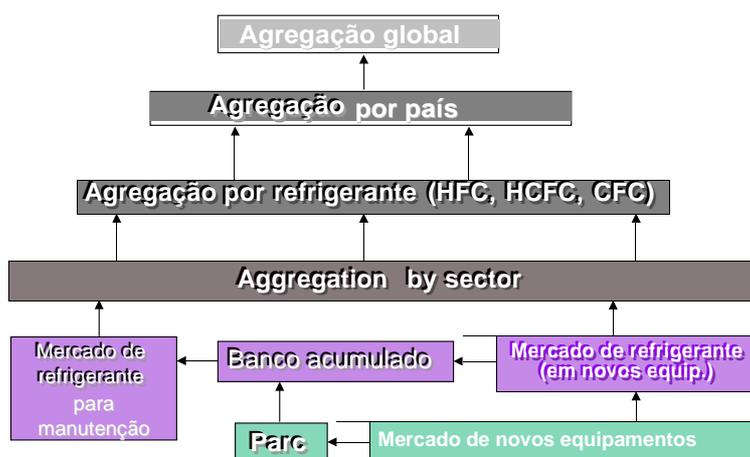


Figura 2.7 – Determinação de mercados de refrigerante.

Como mostra a Figura 2.7, a derivação da demanda global de refrigerantes consiste em:

- ◆ estabelecer as vendas anuais de equipamentos novos e a quantidade de refrigerantes carregados nesses equipamentos
- ◆ a derivação de refrigerantes em banco nas bases instaladas de seis setores, como uma função e sua vida útil,
- ◆ o cálculo do mercado de refrigerante para manutenção dependendo de fatores de emissão,
- ◆ então, os seis setores de aplicação são agregados
- ◆ por famílias de refrigerantes,
- ◆ país a país,
- ◆ por grupos de países e mundialmente.

Referências

- [ASH04a] Ashford, P., D. Clodic, A. McCulloch, L. Kuijpers, 2004a: Emission profiles from the foam and refrigeration sectors compared with atmospheric concentrations, part 1 - Methodology and data. *International Journal of Refrigeration*, **27**(7), 687–700
- [ASH04b] Ashford, P., D. Clodic, A. McCulloch, L. Kuijpers, 2004b: Emission profiles from the foam and refrigeration sectors compared with atmospheric concentrations, part 2 - Results and discussion. *International Journal of Refrigeration*, **27**(7), 701–716
- [ASH04c] Ashford, P., D. Clodic, A. McCulloch, L. Kuijpers, 2004c: Determination of Comparative HCFC and HFC Emission Profiles for the Foam and Refrigeration Sectors until 2015. Part 1: Refrigerant Emission Profiles (L. Palandre and D. Clodic, Armines, Paris, France, 132 pp.), Part 2: Foam Sector (P. Ashford, Caleb Management Services, Bristol, UK, 238 pp.), Part 3: Total Emissions and Global Atmospheric Concentrations (A. McCulloch, Marbury Technical Consulting, Comberbach, UK, 77 pp.). Reports prepared for the French ADEME and the US EPA
- [IPC00] IPCC. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC report, 2000
- [IPC05a] IPCC TEAP, 2005: *IPCC/TEAP Special Report on Safeguarding the ozone Layer and the Global Climate System: Issues related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons*. Prepared by Working Group I and III of the Intergovernmental Panel on Climate Change and the Technology and Economic Assessment Panel under the Montreal Protocol (Metz, B., L. Kuijpers, S. Solomon, S.O. Andersen, O. Davidson, J. Pons, D. de Jager, T. Kestin, M. Manning, and L.A. Meyer (editors). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 488 pp.
- [IPC05b] IPCC/TEAP. *Safeguarding the ozone layer and the global climate system - Issues related to hydrofluorocarbons and perfluorocarbons*. IPCC/TEAP Special Report, Summary for Policymakers and Technical Summary, 2005
- [IPC06] Draft version of the Revised 2006 Guidelines for National Greenhouse Inventories: OECD / IEA Paris
- [IPCC96] Second Assessment Report of the IPCC, Working Group I, 1996
- [IPCC07] Fourth Assessment Report of the IPCC, Working Group I, *The Scientific Basis*, Errata Sheet, 2007
- [CLO05] CLODIC, Denis, PALANDRE, Lionel, BARRAULT, Stéphanie and ZOUGHAIB, Assaad. *Inventories of the WorldWide Fleets of refrigerating and Air Conditioning equipment in order to determine refrigerant emissions: The 1990 to 2003 Updating*. Final report for ADEME, 2005. Confidential
- [MOP07] UNEP. *Report of the Nineteenth Meeting of the Parties to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. UNEP report, 17–21 September, 2007, Montreal, Canada, [CD Rom]
- [SAB09] SABA, S.,” *Global inventories and direct emission estimations of greenhouse gases of refrigeration systems*” Ph. D; Thesis Mines-Paristech December 2009
- [TOC06] 2006 Report of the Refrigeration Air Conditioning and Heat Pumps Technical Option Committee. 2006 Assessment. UNEP Nairobi, Ozone Secretariat, February 2007
- [UNE05] UNEP, 2005: Supplement to the IPCC/TEAP Report, November 2005

Apêndice 1:

1 – Divisão geográfica

Os inventários globais abrangem seis países calculados independentemente e sete grupos de países:

- EUA,
- China,
- Japão,
- Brasil,
- Índia,
- Canadá,

- América Latina e Caribe,
- 27 Estados-membros da União Europeia (UE27),
- Outros - Europa,
- Oeste e Centro da Ásia,
- Sul e Leste da Ásia,
- Oceania e
- África.

A subdivisão dos grupos de países é baseada nas regiões geográficas fornecidas pela Divisão de Estatísticas das Nações Unidas, revisadas em 17 de outubro de 2008 [UNS08]. Porém, os pressupostos do cálculo (eliminação de CFC e HCFC...) nem sempre são idênticos nos países do mesmo grupo. Por isso, alguns grupos são separados em dois subgrupos para levar em conta a diferença nos pressupostos de cálculo.

A Tabela A2.1 fornece detalhes sobre as subdivisões de grupos e os pressupostos de cálculo considerados. Os cálculos são baseados em um banco de dados para os grupos que não são subdivididos, ou seja, os dados de atividade de todos os países que constituem o grupo são agregados em um banco de dados. Cada uma das regiões divididas em dois grupos (Oceania, Oeste e Centro da Ásia, UE27 e Outros – Europa) é separada em dois bancos de dados diferentes.

Tabela A2.1 – Descrição dos grupos de países.

Grupo	Composição	Pressupostos para a eliminação de CFCs e HCFCs
América Latina e Caribe	Antígua, Argentina, Bahamas, Barbados, Belize, Bolívia, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Dominica, República Dominicana, Equador, El Salvador, Granada, Guatemala, Guiana, Haiti, Honduras, Jamaica, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, Santa Lúcia, São Cristóvão e Nevis, São Vicente, Suriname, Trinidad&Tobago, Uruguai, Venezuela	Artigo 5
África	Argélia, Angola, Benin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Camarões, Cabo Verde, Centrafrica, Chade, Comores, Congo, RD Congo, Costa do Marfim, Djibuti, Egito, Eritreia, Etiópia, Gabão, Gâmbia, Gana, Guiné, Guiné Bissau, Guiné Eq., Quênia, Lesoto, Libéria, Jamahiriya Árabe Líbia, Madagascar, Malawi, Mali, Maurítânia, Ilhas Maurícias, Marrocos, Moçambique, Namíbia, Níger, Nigéria, Ruanda, São Tomé, Senegal, Seychelles, Serra Leoa, Somália, África do Sul, Sudão, Suazilândia, Tanzânia, Togo, Tunísia, Uganda, Zâmbia, Zimbábue	Artigo 5
Oeste* e Centro da Ásia	Afeganistão, Armênia, Bahrain, Geórgia, Iraque, Jordânia, Kuwait, Quirguistão, Líbano, Omã, Qatar, Arábia Saudita, Síria, Turcomenistão, Emirados Árabes Unidos, Iêmen, Azerbaijão, Cazaquistão, Tadjiquistão, Turquia, Israel	Artigo 5
Sul e Leste da Ásia	Bangladesh, Butão, Brunei, Camboja, Indonésia, República Islâmica do Irã, República Popular Democrática da Coreia, República da Coreia, Laos, Malásia, Maldivas, Mongólia, Mianmar, Nepal, Paquistão, Filipinas, Singapura, Sri Lanka, Tailândia, Vietnã	Artigo 5
Oceania	Austrália, Nova Zelândia	não Artigo 5
	Ilhas Cook, Fiji, Kiribati, Marshall, Micronésia, Nauru, Niue, Palau, Papua Nova Guiné, Samoa, Ilhas Salomão, Tonga, Tuvalu, Vanuatu	Artigo 5
EU 27	EU 15: Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Países Baixos, Portugal, Espanha, Suécia, Reino Unido	não Artigo 5
	Outros - EU: Bulgária, Chipre, República Tcheca, Estônia, Hungria, Letônia, Lituânia, Malta, Polónia, Romênia, Eslováquia, Eslovênia	transição Artigo 5 -> não Artigo 5
Outros - Europa	Andorra, Bielorrússia, Islândia, Liechtenstein, Mônaco, Noruega, Rússia, Suíça, Ucrânia	não Artigo 5
	Albânia, Bósnia e Herzegovina, Croácia, Moldávia, Montenegro, Sérvia, Antiga República Iugoslava da Macedônia	Artigo 5

*Exceto Chipre, incluído na UE27

[UNS08]: Composição de regiões macrogeográficas (continentais), subregiões geográficas e agrupamentos econômicos e outros selecionados, Divisão Estatística da Nações Unidas, Revisado em 17 de outubro de 2008.
<http://unstats.un.org/unsd/methods/m49/m49regin.htm>

Secretariado do Ozônio

Programa das Nações Unidas para o Meio-
Ambiente (PNUMA)

Caixa postal 30552-00100, Nairóbi, Quênia

Tel: No.: +254 (0) 20 762 3611

Website <http://ozone.unep.org>

<http://ozone.unmfs.org>

E-mail: ozoneinfo@unep.org

Programa das Nações Unidas para
o Meio Ambiente
Caixa postal 30552, Nairóbi 00100,
Quênia

Tel: +254-(0)20-762 1234

Fax: +254-(0)20-762 3927

Email: unepub@unep.org

web: www.unep.org

