

# Cadeia de Frio - Transporte, Armazenamento, Varejo

## 17.1 INTRODUÇÃO

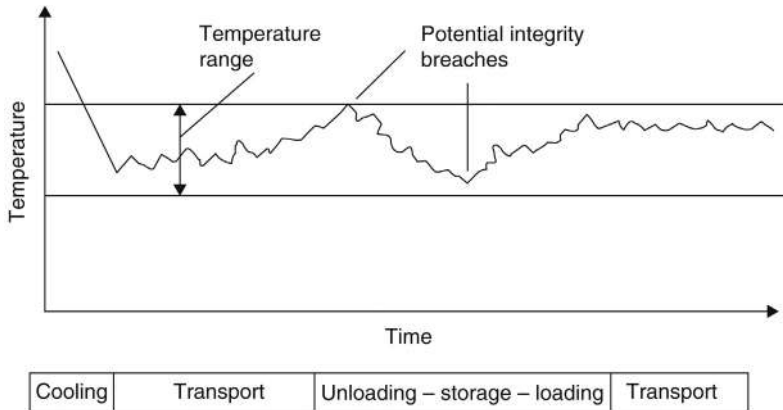
A cadeia de frio é um termo aplicado ao manuseio e distribuição de alimentos, onde o produto é mantido em condições de temperatura adequadas, desde a colheita, passando pelo processo de resfriamento ou congelamento até o ponto de venda. Isso requer transporte, vários tipos de armazenamento e exibição. A natureza da cadeia de frio varia de produto para produto. Para um exemplo relativamente simples, para ervilhas congeladas, a cadeia pode ser assim:

Colheita → transporte rodoviário → tratamento pré-armazenamento → congelamento → embalagem → transporte rodoviário refrigerado → câmara fria / loja de supermercado → vitrine → transporte rodoviário → freezer doméstico

O produto deve atingir o processo de congelamento dentro de um curto período de tempo após a colheita, e mantido abaixo de zero posteriormente para manter a qualidade.

O transporte de produtos refrigerados foi um dos primeiros usos principais da refrigeração mecânica, que remonta a 1880, apenas 20 anos após o primeiro armazenamento estático a frio. O comércio mundial de frigoríficos subiu para 92,4 milhões de toneladas em 2013 (Drewry, 2013). Os desenvolvimentos logísticos permitiram a distribuição mundial de alimentos sob condições de temperatura controlada. Isso abriu mercados nos principais países desenvolvidos e também nos países em desenvolvimento. A exportação de produtos sazonais pode representar uma parte importante da produção, e a capacidade de vender depende de sua qualidade e segurança no consumidor final da cadeia. A temperatura da mercadoria deve ser mantida dentro dos limites especificados (Fig. 17.1). O transporte aéreo, marítimo e terrestre desenvolveu seu próprio segmento especializado e, onde os contêineres intermodais são usados para transferir de um modo de transporte para outro, podem ser evitadas excursões de temperatura potencialmente prejudiciais decorrentes do transbordo.

Embora não seja um tópico para este capítulo, há também uma cadeia de frio para a distribuição de produtos farmacêuticos. As vacinas precisam ser armazenadas em temperaturas dentro da faixa de 0 a 8 ° C. Eles são mais ou menos estáveis a uma determinada temperatura, mas perdem progressivamente sua eficácia se armazenados fora desses limites, e isso é uma função do desvio de temperatura e do tempo de exposição.



**Figura 17.1** Ilustrando possíveis mudanças de temperatura do produto ao longo da cadeia de frio.

## 17.2 TRANSPORTE AÉREO

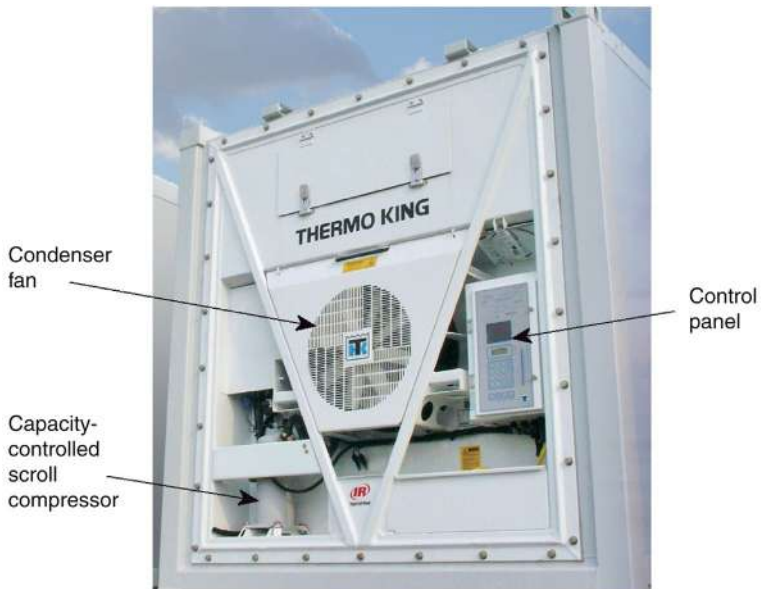
O transporte aéreo permite que produtos altamente perecíveis e valiosos sejam movidos rapidamente por longas distâncias, mas não possui o controle ambiental possível para outros modos. O armazenamento a bordo estará em temperatura de espera e, embora possa ser bastante baixo na maior parte da distância, a qualidade do produto dependerá muito do manuseio rápido e rápido nos aeroportos. A exposição às condições climáticas locais, enquanto espera para ser carregada em um avião ou transportada de e para o aeroporto, pode constituir uma parte importante do tempo total de viagem. Em alguns aeroportos, são fornecidas câmaras frigoríficas para armazenar produtos imediatamente antes e depois do trânsito. O dióxido de carbono sólido (gelo seco) é usado para o resfriamento a curto prazo de refeições de passageiros de companhias aéreas.

## 17.3 MAR E TRANSPORTE INTERMODAL

O transporte marítimo era originalmente em porões isolados construídos nos navios. Poucos permanecem, devido aos altos custos de manuseio, e a maior parte do comércio marítimo agora usa contêineres, seja com suas instalações de refrigeração individuais ou conectados a um sistema de refrigeração central na embarcação. Reefer é o nome genérico normalmente aplicado a um recipiente ISO com controle de temperatura padrão (veja a Fig. 17.2). A instalação de refrigeração integrada (Fig. 17.3) dentro desses contêineres com sulcos possui um sistema de controle que permite que a temperatura definida seja mantida em uma ampla faixa de condições de temperatura externa. Os dispositivos de monitoramento e alarme garantem a segurança dos produtos. A largura padrão dos contêineres ISO é de 8 pés., As alturas padrão são 8 pés. 6 pol. E 9 pés. 6 pol. E os comprimentos mais comuns são 20 pés.



**Figura 17.2** Container de frigoríficos em movimento por estrada (Cambridge Refrigeration Technology).



**Figura 17.3** Unidade de refrigeração do refrigerador (Thermo King).

40 pés. Normalmente, é necessário resfriamento, mas sob algumas condições o aquecimento pode ser necessário. Normalmente, é possível definir a temperatura da caixa para a condição apropriada para a remessa específica, e o sistema de controle incorporado mantém as condições. As configurações típicas de temperatura são 13,5 ° C para bananas, 0,5 ° C para alguns produtos refrigerados e frescos, -18 ° C para carne congelada, -29 ° C para peixe congelado ou sorvete. Para mercadorias refrigeradas e com temperaturas mais quentes que não devem ser congeladas, a temperatura do ar fornecido é controlada, enquanto que para o controle de mercadorias congeladas ocorre a temperatura do ar retornando ao maquinário. É vital permanecer dentro da faixa de temperatura predefinida para preservar a integridade de uma remessa; caso contrário, danos irreversíveis e caros, resultando em perda de valor de mercado, podem ocorrer.

Navios porta-contêineres têm slots com fontes de alimentação para reefers, e também existem navios porta-contêineres frigoríficos geralmente de tamanho menor. A bordo dos navios porta-contêineres, os reefers estão conectados à energia do navio e podem ser monitorados remotamente. O monitoramento pode ser estendido via satélite ao remetente, que por sua vez pode supervisionar sua carga cara de mercadorias refrigeradas ou congeladas. Os slots também são fornecidos na doca a partir da qual os reefers são dispersos em câmaras frigoríficas para transbordo ou não carregados em veículos rodoviários.

## 17.4 TRANSPORTE RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO

Os reboques frigoríficos são semi-reboques articulados com um comprimento máximo de 15,5 m, um volume interno de 73 m<sup>3</sup>, mas com capacidade para até 40 t. A maioria das unidades de resfriamento é fabricada na fábrica e possui seu próprio motor diesel para uso na estrada e pode ter um motor elétrico que pode ser operado a partir de fontes de alimentação quando o veículo está estático. A troca da unidade é feita por embreagens magnéticas. Um compressor de acionamento aberto e as opções de velocidade do motor oferecem flexibilidade de capacidade (Figs. 17.4 e 17.5). A unidade completa terá construção robusta para suportar vibrações de estradas precárias e será adaptável para manter automaticamente qualquer temperatura necessária. Os aquecedores também são instalados, uma vez que os veículos podem estar trabalhando em temperaturas ambiente inferiores às exigidas para o produto transportado.

O resfriamento direto por evaporação do nitrogênio líquido também é usado. Isso é realizado em frascos de vácuo de metal e o veículo depende de depósitos onde o balão de nitrogênio líquido pode ser reabastecido. O único equipamento mecânico é uma válvula de injeção de solenóide controlada termostaticamente.



**Figura 17.4** Unidade de refrigeração de transporte independente com acionamento por motor diesel (Thermo King).

Alguns veículos têm unidades elétricas fornecidas a partir de um alternador no motor principal; estes podem ser montados sobre a cabine ou embaixo do veículo.

Os veículos usados apenas durante o dia podem ter sistemas de refrigeração funcionando a partir de um suprimento de energia elétrica, desde que possam manter uma temperatura suficientemente baixa enquanto estiverem na estrada. É suficiente resfriar a carroceria do veículo durante a noite quando estiver na garagem, e confiar na massa fria de produtos e em uma boa isolamento para manter as condições durante a entrega. A capacidade de refrigeração adicional durante o dia pode ser fornecida por placas eutéticas nas quais vigas ou placas contendo um material de mudança de fase são resfriadas durante a noite e absorvem o calor enquanto o veículo está na estrada (Fig. 17.6). Uma unidade de condensação convencional montada no veículo fornece a refrigeração, mas só funciona quando a fonte de alimentação está conectada. Esta abordagem



**Figura 17.5** Caminhão diesel auto-alimentado com opção de espera elétrica (Thermo King).



**Figura 17.6** Placas eutéticas no interior de um veículo de entrega local - suportes de prateleiras para cestas de carga também visíveis (Cambridge Refrigeration Technology).

também tem a vantagem de emissão de ruído zero da unidade de resfriamento durante as entregas. Alguns veículos de entrega locais usam nitrogênio líquido. O tráfego ferroviário ocorre principalmente em vagões isolados e construídos para esse fim, muitos deles com sistemas de refrigeração independentes. Alguns produtos são pré-resfriados e / ou gelados. Estações de gelo estão disponíveis nas rotas mais longas da Europa.

## 17.5 LOGÍSTICA

Durante a movimentação de mercadorias entre câmaras frigoríficas estáticas e veículos, todos os esforços devem ser feitos para evitar qualquer aquecimento. O princípio é fechar o veículo até a parede da câmara fria.

O arranjo ideal é recuar o veículo até uma porta com um colar de vedação, para que o conteúdo possa se mover diretamente para a loja sem exposição à temperatura ambiente. Se a altura for diferente da da loja, serão montadas plataformas ajustáveis na porta. Para evitar a entrada de ar quente (e perda de ar frio), é útil ter uma câmara de ar. Elas precisam ter pelo menos o comprimento de uma empilhadeira carregada e requerem espaço extra junto com portas duplas e tempo de movimentação extra.

Os principais supermercados possuem centros de distribuição regionais próprios, fornecidos diariamente a partir da fábrica ou do contêiner. A partir daí, a distribuição para lojas individuais ocorre através de uma frota de reboques frigoríficos. Os pequenos varejistas usam lojas de distribuição independentes, onde as mercadorias são entregues em grandes quantidades, armazenadas por um curto período de tempo, 'escolhidas por ordem' e depois enviadas (Fig. 17.7).



**Figura 17.7** Centro de distribuição (Star Refrigeration).



**Figura 17.8** *Compartimento refrigerado dentro de um armazém para uma variedade de produtos congelados e refrigerados (Star Refrigeration).*

As lojas de distribuição requerem armazenamento refrigerado adjacente ou embutido e áreas de coleta de pedidos e podem operar 24 horas por dia. Para acesso total, o armazenamento é em estantes de paletes. Isso ocupa aproximadamente dois terços da loja, deixando o restante para classificar as mercadorias nos lotes de saída individuais. Este último pode estar em paletes ou estantes com rodas. As operadoras realizam a operação de coleta de pedidos na loja e usam roupas de proteção adequadas. As lojas dentro de um armazém geralmente têm de 5 a 8 m de altura, para que haja menos movimentação de ar dos resfriadores no nível de trabalho, com unidades de condensação externas ao edifício, não impondo carga de resfriamento adicional ao armazém (Fig. 17.8). As remessas de produtos refrigerados são expedidas dos centros de distribuição para as áreas de armazenamento frio nos pontos de venda.

## 17.6 VISOR REFRIGERADO

A exibição refrigerada, o elo final da cadeia comercial de frio, é onde o consumidor compra o produto. O objetivo é mostrar os produtos da melhor forma possível, mantendo-os dentro dos limites de temperatura prescritos.



O primeiro refrigerador para alimentos congelados foi um conservador de sorvete para arcas congeladoras do tipo integral, uma arca congeladora para arcas congeladoras. O sistema de refrigeração é embutido e o evaporador consiste em uma bobina de tubo em contato com a parede interna. Esses freezers ainda são comumente usados para a venda de sorvetes.

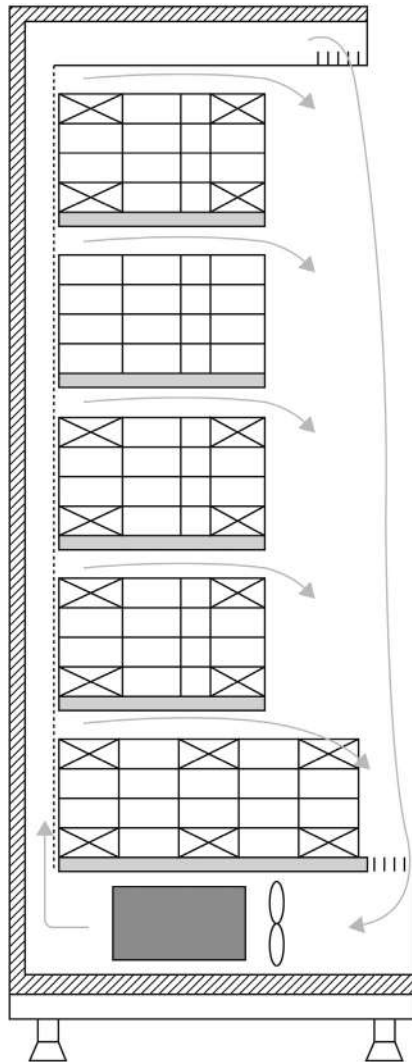
Os dois principais tipos de vitrines são aquelas que operam a partir de uma instalação de refrigeração situada remotamente (armários remotos) e aquelas que contêm seu próprio pequeno sistema de refrigeração, como uma geladeira doméstica. As últimas são às vezes denominadas 'integrais' ou 'unidades de plug-in'. Dentro de cada uma dessas categorias, existem diferentes tipos de armários. Os mais comumente usados são: multi-deck, porta de vidro, poço e delicatessen. Além disso, existem projetos especializados para produtos e aplicações específicas.

Os gabinetes de resfriamento com vários andares (Fig. 17.9) contam com uma cortina de ar para manter a temperatura dos produtos nas prateleiras. Esse tipo de gabinete oferece uma excelente exibição de produtos, e é um princípio bem estabelecido que as mercadorias que podem ser vistas têm maior probabilidade de serem compradas do que as escondidas à vista. No entanto, mesmo com cuidadoso gerenciamento de ar, os gabinetes de vários andares tendem a ter uma carga de ganho de calor proporcionalmente maior do que outros tipos. Os gerentes de lojas favorecerão seu uso onde a movimentação de mercadorias for rápida.

Os monitores das portas de vidro e os tipos de poços (Fig. 17.10) são mais econômicos e são amplamente adotados para produtos congelados. Os usuários aceitam a necessidade de reduzir o desperdício de energia e ficam felizes em comprar produtos congelados nesse tipo de tela. São necessários bons aquecedores de iluminação e de vedação da porta.

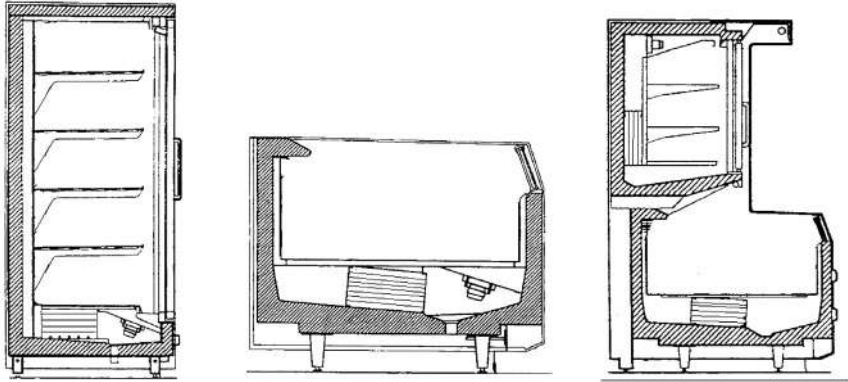
A tela de topo aberto pode obter um calor considerável da infiltração de ar e calor radiante da iluminação. Coberturas temporárias são frequentemente usadas quando o prédio é fechado, para reduzir esses ganhos e ajudar a preservar os alimentos. Isso é de importância considerável quando as carnes cortadas são exibidas, uma vez que o calor radiante das luzes e a perda da manta de ar frio levam à perda de umidade da superfície com intenso escurecimento da aparência. Ajuda a ter paredes de vidro nas laterais para reduzir as correntes de ar, o que perturbaria a camada de ar frio no gabinete. O evaporador pode ser bobinas de tubo na parte externa da parede interna ou uma bobina aletada na parte traseira ou nas laterais. É importante que o produto seja mantido abaixo do nível de design da manta de ar frio. Os displays de alcance integral são usados para uma variedade de produtos, e os projetos especializados são personalizados para pequenos varejistas, hotéis e restaurantes (Fig. 17.11).

Os evaporadores precisam ser descongelados em intervalos regulares, geralmente a cada 6 a 8 horas. A acumulação de gelo nos evaporadores pode ser limitada pelo ar-condicionado da área da loja e, assim, reduzindo a quantidade de umidade no ar circundante.



**Figura 17.9** Vista em seção do gabinete de vários andares para exibição de alimentos refrigerados (RD&T).

O consumo de energia dos gabinetes é determinado de acordo com métodos padrão que são responsáveis pela entrada de energia direta no gabinete para iluminação, ventiladores, aquecedores e aquecedores de degelo e a entrada de energia necessária para a extração de calor. Os testes revelaram uma grande variação no consumo, e 15 a 20% de economia de energia pode ser alcançada por muitos usuários por meio da escolha de produtos eficientes (Evans et al., 2007). Uma análise das cargas de calor para vários tipos de gabinete é mostrada na Fig. 17.12.



**Figura 17.10** Vista em corte de portas de vidro típicas e armários do tipo poço para exibição de alimentos congelados (RD&T).

## 17.7 RETAIL REFRIGERATION

Um supermercado possui um grande número de áreas separadas para armazenamento de alimentos - câmaras frigoríficas e vitrines, que exigem refrigeração. O método original era, como no freezer doméstico, ter uma unidade de condensação como parte de cada gabinete. O uso de 'plug-ins' dessa maneira pode causar temperaturas excessivas em



**Figura 17.11** Contador de exibição de peixes refrigerados (XL Refrigeradores).

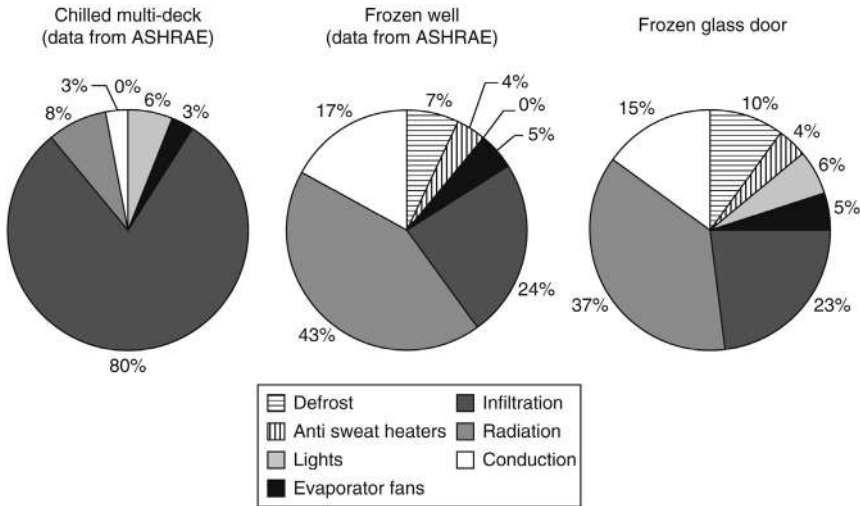


Figura 17.12 Análise percentual de cargas de calor para diferentes tipos de gabinete. (Dados de RD&T e ASHRAE).

as áreas comerciais onde o calor do condensador está sendo injetado. Isso impõe exigências extras ao sistema de ar condicionado. Para evitar isso, as unidades de condensação remota, geralmente localizadas em uma sala central, tornaram-se uma solução amplamente aceita.

Com o aumento contínuo das cargas de resfriamento e a dificuldade de fornecer espaço suficiente para a circulação de ar da unidade de condensação, foi desenvolvido o conceito de um conjunto de compressores (veja Fig. 13.4) trabalhando em conjunto com condensadores remotos. Um banco de compressores fornece cada temperatura de evaporação, com uma pressão de condensação comum. Esses sistemas centralizados são muito flexíveis, com os compressores trocados por um controlador lógico para manter as condições corretas, independentemente do número de resfriadores trabalhando a qualquer momento. Os condensadores agrupados oferecem a oportunidade de recuperar o calor do gás de descarga para aquecimento de água e, no inverno, para aquecer o edifício.

Vários métodos de degelo são possíveis. O degelo fora do ciclo não usa nenhuma forma de degelo artificial. O acúmulo de gelo que pode ocorrer na superfície de transferência de calor do evaporador é removido durante o ciclo de desligamento do equipamento. Este método é usado principalmente para armários frios. O degelo elétrico é simples de operar e controlar, e não depende de nenhum serviço externo para o fornecimento de calor. Este método é usado para telas congeladas. O degelo a gás quente é um método no qual o gás de descarga dos compressores é levado ao evaporador para fornecer o calor do degelo. Muitos sistemas de degelo a gás quente foram instalados, mas problemas de confiabilidade levaram à adoção do degelo elétrico na maioria das instalações hoje.

Não existe um tamanho único para aplicações de supermercado. Existem situações em que plug-ins integrais ou unidades de condensação são uma boa solução. Isso é particularmente verdadeiro para lojas menores e lojas de pátio de postos de gasolina. Com a crescente ênfase na contenção de refrigerante, houve um movimento em direção ao uso de pequenos pacotes de compressores localizados, de preferência a uma única sala remota (ver Fig. 13.5). Esse tipo de instalação utiliza menos carga de refrigerante e reduz as chamadas perdas parasitárias, ou seja, quedas de pressão e ganhos de calor em longas linhas de sucção que conectam as salas remotas da planta. É mais adequado para um edifício em que haja espaço no teto ou na parede para as unidades, mas isso nem sempre é o caso.

O requisito de fornecer refrigeração adequada e discreta em um espaço de vendas densamente compactado continua sendo um desafio para os engenheiros, e o transporte de refrigerante HFC através de longos canos com muitas juntas remanescentes suscetíveis a perdas de vazamento. O reconhecimento desse problema ao longo de um período de tempo e, mais recentemente, com a introdução do regulamento europeu sobre gases fluorados, impulsionou inovações. Isso inclui sistemas indiretos, nos quais circula salmoura, em vez de refrigerante, nos armários de exibição. Esta é uma solução eficaz, mas dispendiosa e potencialmente mais intensiva em energia quando são contabilizadas a energia da bomba e as perdas extras de transferência de calor.

### 17.8 TRANSIÇÃO PARA REFRIGERANTES DE BAIXO GWP

As aplicações da cadeia de frio se enquadram principalmente na refrigeração comercial. Esse setor está se afastando de fluidos com alto GWP, principalmente o R404A, além de implementar programas de redução de vazamentos e melhorias na eficiência energética. No período seguinte à eliminação gradual dos CFCs e HCFCs, o R404A dominou essas aplicações, sua baixa temperatura de descarga possibilitando relações de pressão relativamente alta em um único estágio sem a necessidade de resfriamento adicional do compressor. O R404A (GWP 3922) agora está dentro da proibição da UE em 2020 (consulte o capítulo: Refrigerantes), e algumas aplicações sofreram uma transição para misturas de HFC, como R407A (GWP 2017) e R407F (GWP1825). A transição pode assumir a forma de retromontar usando o equipamento existente ou instalar um novo equipamento. Essas misturas, e outras, algumas incluindo componentes HFO, escapam à proibição de 2020, mas podem se enquadrar na proibição de 2022. Eles tendem a fornecer um pouco menos de capacidade que o R404A, para o mesmo deslocamento do compressor, eficiência semelhante, mas com uma temperatura de descarga mais alta. Para misturas de HFO / HFC a longo prazo, pode ser necessário aceitar e trabalhar com materiais levemente inflamáveis (A2L). Para que uma mistura seja não inflamável, o limite de GWP é de aproximadamente 400 - é provável que qualquer menor seja levemente inflamável.

A alternativa é o chamado refrigerante natural que não contém componentes HFC ou HFO. O dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, está sendo aplicado de maneira inovadora em muitas aplicações comerciais (e industriais). Os altos custos de equipamentos podem ser justificados pelo conhecimento de que o CO<sub>2</sub> está fora das regulamentações de gases fluorados e representa uma solução a longo prazo. A chave do seu sucesso é tirar proveito de seus pontos positivos, usando o ciclo subcrítico quando as condições permitirem, ciclo em cascata ou de reforço e recuperação de calor. Seu alto coeficiente de transferência de calor latente e calor, combinado com alta pressão e densidade, resulta na capacidade de produzir grandes quantidades de resfriamento com compressores de deslocamento muito pequenos e tubulações de pequeno diâmetro. Sua principal desvantagem é a baixa temperatura crítica (consulte o capítulo: O ciclo de refrigeração). A Fig. 17.13 mostra uma unidade transcritical de CO<sub>2</sub> em dois estágios, servindo tanto vitrines de temperatura média quanto baixa.



**Figura 17.13** Unidade R744 transcritical em dois estágios com refrigerador de gás montado acima dos compressores (Star Refrigeração).

A amônia (R717), tradicionalmente pouco usada em sistemas comerciais, representa uma possível alternativa para a rejeição de calor em alto estágio se uma unidade independente puder ser montada no telhado. Ele não pode circular nos armários das áreas ocupadas, mas a circulação da bomba, usando o R744 como um secundário eficaz, é possível.

Inflamáveis como propano (R290) e propileno (R1270) também são possíveis dentro dos limites de carga para áreas ocupadas. Muito utilizados em unidades domésticas, eles podem ser adequados para armários integrais nas lojas.

Em resumo, todas as opções estão sendo repensadas e muitos exemplos de aplicativos inovadores podem ser encontrados.