

# REFRIGERAÇÃO II

Complementos

Manual de apoio ao ensino e à profissão

António José da Anunciada Santos

$$R = \frac{U}{l}$$

$$\dot{Q} = A \times \sigma \times T^4$$

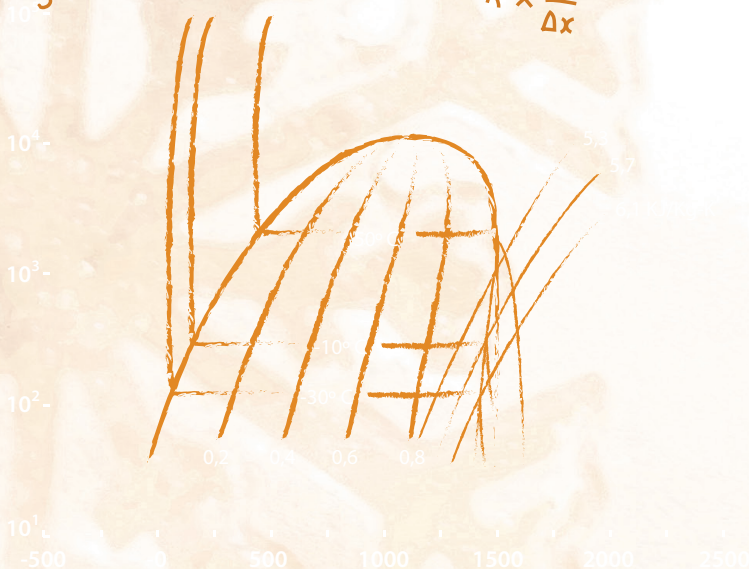
$$\dot{Q} = A \times hc \times \Delta T$$

$$\dot{Q} = A \times U \times \Delta T \ln$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \times \Delta h$$

$$R = \rho \times \frac{L}{S}$$

$$\dot{Q} = A \times K \times \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



$\Sigma \varphi$

#### AUTOR

António José da Anunciada Santos

#### TÍTULO

Refrigeração II - Manual de apoio ao ensino e à profissão - Complementos

#### EDIÇÃO

Publindústria, Edições Técnicas

Praça da Corujeira n.º 38 · 4300-144 PORTO | [www.publindustria.pt](http://www.publindustria.pt)

#### DISTRIBUIÇÃO

Engebook - Conteúdos de Engenharia e Gestão

Tel. 220 104 872 · Fax 220 104 871 · E-mail: [apoiocliente@engebook.com](mailto:apoiocliente@engebook.com) · [www.engebook.com](http://www.engebook.com)

#### CAPA

David Manuel Nunes Domingos

#### DESIGN

Publindústria, Produção de Comunicação, Lda.

#### IMPRESSÃO

Impresso em Espanha

maio, 2016

#### DEPÓSITO LEGAL

408470/16



A **cópia ilegal** viola os direitos dos autores.

Os prejudicados somos todos nós.

Copyright © 2016 | Publindústria, Produção de Comunicação, Lda.

Todos os direitos reservados a Publindústria, Produção de Comunicação, Lda. para a língua portuguesa.

A reprodução desta obra, no todo ou em parte, por fotocópia ou qualquer outro meio, seja eletrónico, mecânico ou outros, sem prévia autorização escrita do Editor, é ilícita e passível de procedimento judicial contra o infrator.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, no todo ou em parte, sob qualquer forma ou meio, seja eletrónico, mecânico, de fotocópia, de gravação ou outros sem autorização prévia por escrito do autor.

Este livro encontra-se em conformidade com o novo Acordo Ortográfico de 1990, respeitando as suas indicações genéricas e assumindo algumas opções específicas.

#### CDU

621.5 Energia pneumática. Maquinaria e ferramentas. Refrigeração

621.6 Instalações e técnicas para a manipulação, armazenagem e distribuição de fluidos

#### ISBN

Papel: 978-989-723-176-6

E-book: 978-989-723-177-3

Engebook - Catalogação da publicação

Família: Engenharia

Subfamília: Refrigeração/AVAC

Classes: Técnica e Universitária

# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b>	XIII
<b>6. EVAPORADORES E CONDENSADORES</b>	383
6.1. INTRODUÇÃO	383
6.2. EVAPORADORES	384
6.2.1. Descrição	384
6.2.2. Capacidade teórica de um evaporador	385
6.2.3. Classificações	387
6.2.4. Evaporadores de circulação a ar natural	389
6.2.5. Evaporadores de circulação a ar forçado	391
6.2.5.1. Constituição geral	391
6.2.5.2. Funcionamento	392
6.2.5.3. Seleção	393
6.2.5.4. Modelos	394
6.2.6. Circulação de líquidos	402
6.2.7. Placas especiais	404
6.3. CONDENSADORES	405
6.3.1. Descrição	405
6.3.2. Capacidade teórica de um condensador	406
6.3.3. Classificações	407
6.3.4. Condensadores de circulação a ar natural	408
6.3.5. Condensadores de circulação a ar forçado	409

6.3.5.1. Constituição geral	409
6.3.5.2. Funcionamento	409
6.3.5.3. Seleção	410
6.3.5.4. Modelos	411
6.3.6. Circulação de líquidos	415
6.3.7. Condensadores evaporativos	417
6.3.7.1. Funcionamento	418
6.3.7.2. Seleção	419
6.3.7.3. Cuidados na instalação	421
6.4. DESCONGELAÇÃO	422
6.4.1. Descrição	422
6.4.2. Sistemas de descongelamento	422
6.4.3. Sistemas de descongelamento natural	423
6.4.3.1. Descrição	423
6.4.3.2. Funcionamento	423
6.4.4. Sistemas de descongelamento forçada	424
6.4.4.1. Descrição	424
6.4.4.2. Sistema por resistências	426
6.4.4.3. Descongelamento por líquidos	428
6.4.4.4. Descongelamento por gás quente	429
<b>7. DISPOSITIVOS DE CONTROLO E AUXILIARES</b>	435
7.1. INTRODUÇÃO	435
7.2. DISPOSITIVOS DE EXPANSÃO	436
7.2.1. Tubos capilares	437
7.2.2. Válvulas de expansão pressostáticas	439
7.2.3. Válvulas de expansão termostáticas	441
7.2.4. Válvulas de expansão manuais	452
7.2.5. Válvulas de expansão de boia	455
7.2.6. Válvulas de expansão eletrónicas	458
7.3. DISPOSITIVOS DE CONTROLO E SEGURANÇA	460
7.3.1. Termóstatos	460
7.3.1.1. Eletromecânico universal	461
7.3.1.2. Eletromecânico específico	462
7.3.1.3. Termóstatos eletrónicos	465
7.3.2. Pressóstatos	466
7.3.2.1. Baixa pressão (BP)	467
7.3.2.2. Alta pressão (AP)	468
7.3.2.3. Combinado (ABP)	469
7.3.2.4. Pressóstato de óleo	470

7.3.2.5. Instalação e afinações	472
7.3.3. Válvulas não modulantes	474
7.3.3.1. Válvulas de corte	475
7.3.3.2. Válvulas de serviço	477
7.3.3.3. Válvulas de retenção	479
7.3.3.4. Válvulas de solenoide de 2 vias	481
7.3.3.5. Válvulas inversoras de ciclo	486
7.3.4. Válvulas modulantes	488
7.3.4.1. Parâmetros funcionais	489
7.3.4.2. Reguladoras de evaporação	490
7.3.4.3. Reguladoras de condensação e depósito líquido	491
7.3.4.4. Reguladoras de pressão de arranque	495
7.3.4.5. Reguladoras de capacidade	497
7.3.4.6. Cuidados na instalação	500
7.3.4.7. Válvulas reguladoras de água	500
7.4. DISPOSITIVOS AUXILIARES	502
7.4.1. Depósitos de líquido	502
7.4.2. Separadores de líquido de aspiração	506
7.4.3. Componentes do circuito de óleo	508
7.4.4. Filtros	514
7.4.4.1. Constituição e aplicação	515
7.4.4.2. Instalação e substituição de filtros	518
7.4.4.3. Seleção de um filtro secador	519
7.4.5. Visores de líquido	521
7.4.6. Permutadores de calor	523
<b>8. COMPRESSORES</b>	531
8.1. INTRODUÇÃO	531
8.2. TIPOS E CLASSIFICAÇÕES	532
8.3. COMPRESSORES ALTERNATIVOS DO TIPO ABERTO	534
8.3.1. Descrição	534
8.3.2. Constituição e funcionamento	535
8.3.3. Parâmetros	540
8.3.4. Seleção de um compressor aberto	547
8.4. COMPRESSORES ALTERNATIVOS DO TIPO SEMI-HERMÉTICO	548
8.4.1. Descrição	548
8.4.2. Constituição e funcionamento	549
8.4.3. Componentes e arranques em trifásicos	553
8.5. COMPRESSORES ALTERNATIVOS DO TIPO HERMÉTICO	559
8.5.1. Descrição	559

8.5.2. Constituição e funcionamento	560
8.5.3. Componentes e arranques em monofásicos	562
8.6. COMPRESSORES ROTATIVOS	568
8.6.1. Descrição	568
8.6.2. Constituição e funcionamento	570
8.7. COMPRESSORES DE PARAFUSO	573
8.7.1. Descrição	573
8.7.2. Constituição e funcionamento	574
8.8. COMPRESSORES CENTRÍFUGOS	575
<b>9. TUBAGENS EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO</b>	577
9.1. INTRODUÇÃO	577
9.2. TUBAGENS E MANUSEAMENTO DO COBRE	578
9.2.1. Descrição	578
9.2.2. Tipos de tubos de cobre	578
9.2.3. Tipos de acessórios em cobre/latão	580
9.2.4. Manuseamento básico do cobre	583
9.2.5. Soldadura por brasagem	587
9.2.5.1. Descrição	587
9.2.5.2. Princípios e fundamentos	587
9.2.5.3. Método de soldadura	589
9.2.5.4. Soldar tubos de cobre	592
9.3. TUBAGENS EM SISTEMAS DE EXPANSÃO SECA	596
9.3.1. Descrição	596
9.3.2. Caudal mássico	597
9.3.3. Diâmetros e velocidades	599
9.3.4. Perdas de carga	600
9.3.4.1. Perdas em tubagens	600
9.3.4.2. Perdas menores	603
9.3.5. Dados de referência em sistemas de expansão seca	606
9.3.5.1. Velocidades	606
9.3.5.2. Perdas de carga	608
9.3.6. Procedimento de cálculo	609
9.3.7. Tabelas e gráficos	612
9.3.8. Circuitos de dimensionamento e regras de base	615
9.3.8.1. Descrição	615
9.3.8.2. Linha de aspiração	616
9.3.8.3. Linha de descarga	627
9.3.8.4. Linha de líquido	631
9.3.9. Tubagem para descongelamento por gás quente	637

9.4. TUBAGENS EM SISTEMAS INUNDADOS	640
9.4.1. Descrição	640
9.4.2. Caudal mássico	641
9.4.3. Diâmetros e velocidades	644
9.4.3.1. Linha de retorno dos evaporadores	645
9.4.3.2. Linha de ida para os evaporadores	647
9.4.3.3. Linha de aspiração para os compressores	648
9.4.4. Perdas de carga	648
9.4.5. Procedimento de cálculo	651
9.4.6. Separadores de líquido	651
9.4.6.1. Descrição	651
9.4.6.2. Funcionamento e regras básicas	652
9.4.6.3. Dimensionamento	657
9.4.7. Bombas circuladoras	662
9.5. TUBAGENS PARA INCONDENSÁVEIS	666
9.5.1. Descrição	666
9.5.2. Sistemas de purga	666
<b>10. MANUTENÇÃO E AVARIAS EM INSTALAÇÕES DE FRIO COMERCIAL</b>	669
10.1. INTRODUÇÃO	669
10.2. FERRAMENTAS DO TÉCNICO DE FRIO	669
10.2.1. Ferramentas mecânicas	671
10.2.2. Equipamentos de medição	674
10.2.3. Máquinas e soldadura	678
10.3. MANUTENÇÃO	680
10.3.1. Sistemas comerciais de motor incorporado	680
10.3.1.1. Descrição	680
10.3.1.2. Unidade condensadora	681
10.3.1.3. Unidade evaporadora	682
10.3.1.4. Tubagens de distribuição	682
10.3.1.5. Circuito elétrico	684
10.3.1.6. Folha de operações	686
10.3.2. Câmaras com motor incorporado	686
10.3.2.1. Descrição	686
10.3.2.2. Geração do frio	687
10.3.2.3. Distribuição do frio	691
10.3.2.4. Uso final do frio	693
10.3.2.5. Folha de operações	696
10.3.3. Sistemas comerciais do tipo central	697
10.3.3.1. Descrição	697

10.3.3.2. Quadro elétrico	698
10.3.3.3. Compressores	700
10.3.3.4. Condensadores a ar	705
10.3.3.5. Distribuição do frio	706
10.3.3.6. Uso final do frio	709
10.3.3.7. Medições e registos	713
10.3.3.8. Folha de operações	714
10.4. OBSERVAÇÕES E AVARIAS	716
10.4.1. Válvula de expansão e solenoide	716
10.4.2. Sintomas de falta/excesso de fluido	718
10.4.3. Compressores alternativos	719
10.4.4. Exemplos de avarias	721
10.4.5. Tabelas de avarias	723
<b>11. ELETRICIDADE APLICADA</b>	727
11.1. INTRODUÇÃO	727
11.2. PRINCÍPIOS DA ELETRICIDADE	728
11.2.1. Grandezas: leis e unidades	728
11.2.2. Corrente alterna monofásica	737
11.2.3. Corrente alterna trifásica	746
11.3. MÁQUINAS ELÉTRICAS	751
11.3.1. Descrição	751
11.3.2. Transformadores	751
11.3.2.1. Transformadores monofásicos	752
11.3.2.2. Transformadores especiais	759
11.3.3. Motores de corrente contínua (c.c.)	762
11.3.4. Motores de corrente alternada (c.a.)	764
11.3.4.1. Motores assíncronos trifásicos	764
11.3.4.2. Motores assíncronos monofásicos	774
11.4. QUADROS ELÉTRICOS E AUTOMATISMOS	777
11.4.1. Descrição	777
11.4.2. Componentes e estrutura de um quadro elétrico	778
11.4.3. Proteção de circuitos elétricos em sistemas de refrigeração	780
11.4.3.1. Conceitos básicos	780
11.4.3.2. Corta circuitos fusíveis	783
11.4.3.3. Disjuntores magnetotérmicos	786
11.4.3.4. Relés térmicos	789
11.4.3.5. Disjuntor de motor magnetotérmico	791
11.4.3.6. Interruptores diferenciais	793
11.4.3.7. Disjuntores diferenciais	796



11.4.3.8. Proteção de motores e resistências em refrigeração	797
11.4.4. Componentes de comando	798
11.4.4.1. Descrição	798
11.4.4.2. Controladores eletromecânicos	799
11.4.4.3. Controladores eletrônicos	803
11.4.5. Condutores e cabos	812
11.4.5.1. Descrição	812
11.4.5.2. Condutores para quadros de identificação	814
11.4.5.3. Cabos elétricos para instalações de identificação	815
11.4.5.4. Regras de dimensionamento de condutores e cabos elétricos	816
<b>12. ESQUEMAS E SIMBOLOGIA</b>	<b>823</b>
12.1. INTRODUÇÃO	823
12.2. INSTALAÇÕES DE FRIO	823
12.2.1. Instalação de expansão direta DX 1 etapa	823
12.2.2. Instalação inundada por bomba 1 etapa	831
12.2.3. Instalações de expansão direta DX 2 etapas	832
12.2.4. Instalação inundada por bomba 2 etapas	836
12.2.5. Instalação inundada por bomba em cascata	836
12.3. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	837
12.3.1. Sistemas individuais	837
12.3.2. Sistema de central	848
12.4. SIMBOLOGIA	853
12.4.1. Símbolos de frio, Norma NP EN 1861-2000	853
12.4.2. Símbolos de frio, Norma NP 3814-1988	861
12.4.3. Símbolos elétricos	867
<b>ANEXOS</b>	<b>873</b>
FERRAMENTAS INFORMÁTICAS PARA O FRIO	873
TABELAS	887
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>889</b>

A maior parte dos dados aqui apresentados tiveram como referência a informação da Centauro e são apenas para auxílio na descrição das matérias. Para aplicações práticas aconselha-se a consulta dos dados reais dos fabricantes. Como consulta em literatura específica de evaporadores e condensadores mencionam-se os trabalhos de Martinez (2000) e Miranda (2000).

## 6.2. EVAPORADORES

### 6.2.1. DESCRIÇÃO

Como foi abordado no capítulo de cargas térmicas, para manter um espaço a uma temperatura considerada como ótima para a conservação de um género alimentício é necessário remover um conjunto de cargas de calor. Para isso é necessário ter uma superfície com uma temperatura mais fria do que o meio a arrefecer. Nos processos de arrefecimento que usam máquinas térmicas a trabalhar segundo um ciclo frigorífico, seja ele por compressão mecânica ou por absorção, é necessário instalar no interior do espaço um permutador de calor com uma temperatura mais baixa do que o meio. Nesse permutador de calor vai circular um fluido refrigerante que, ao evaporar-se a uma baixa temperatura, vai absorver calor. Pode-se então dizer que os evaporadores são permutadores de calor que servem para absorver calor de um espaço a refrigerar para o interior de um fluido de trabalho, que vai mudar de estado físico de líquido a vapor.

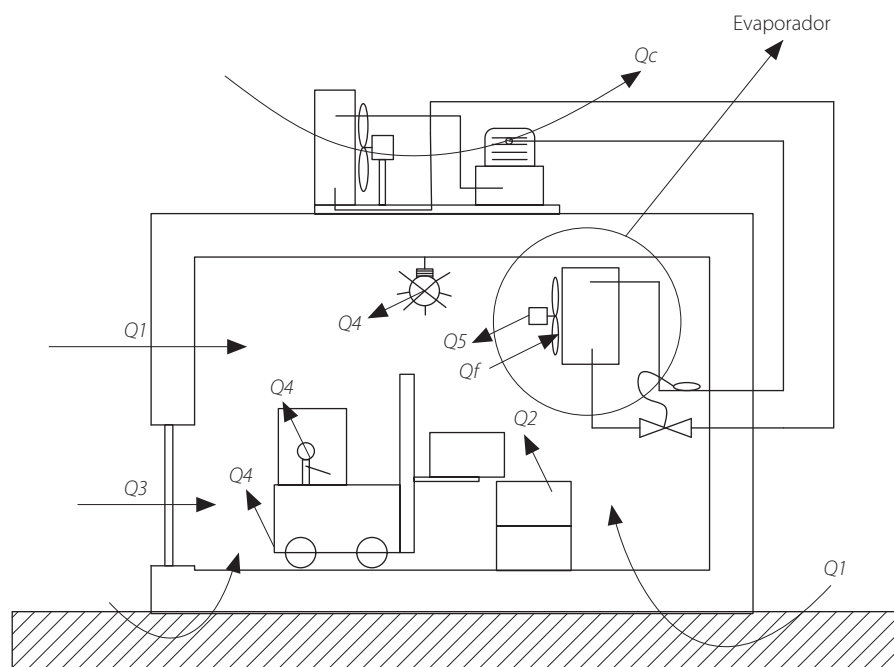


Figura 6.1. Local típico dos evaporadores

### 6.2.2. CAPACIDADE TEÓRICA DE UM EVAPORADOR

Sendo o evaporador um permutador de calor, tem como função trocar calor entre um fluido interior, que funciona como refrigerante, e um outro exterior. O fluido interior refrigerante vai-se evaporar a uma pressão constante, cuja temperatura é mais baixa do que o meio a arrefecer; e o fluido exterior está a uma temperatura mais alta do que o refrigerante, funcionando como agente trocador de calor entre os alimentos e o evaporador. A diferença de temperaturas entre o fluido exterior e o fluido interior, na entrada do evaporador, é mais alta do que na saída, sendo o calor trocado pelos dois fluidos determinado teoricamente pelo conceito de diferença de temperaturas média logarítmica.

$$Q = A \times U \times \Delta T \ln$$

Com base na equação geral dada na transmissão do calor no Capítulo 1, desenvolve-se o caso particular para um permutador contracorrente.

$$\Delta T \ln = \frac{\Delta T_0 - \Delta T_L}{\ln \left( \frac{\Delta T_0}{\Delta T_L} \right)} \text{ e } \Delta T_0 = T_{sq} - T_{ef} \text{ e } \Delta T_L = T_{eq} - T_{sf}$$

Considerando que a temperatura do fluido frio na entrada é igual à saída, que por sua vez é igual à temperatura de evaporação, obtém-se a diferença de temperaturas para o caso particular dos evaporadores. A evolução desta temperatura ao longo do evaporador é semelhante à indicada no gráfico da figura seguinte.

$$T_{ef} = T_{sf} = T_e$$

$$\Delta T \ln = \frac{T_{sq} - T_e - T_{eq} + T_e}{\ln \left( \frac{T_{sq} - T_e}{T_{eq} - T_e} \right)} = \frac{T_{sq} - T_{eq}}{\ln \left( \frac{T_{sq} - T_e}{T_{eq} - T_e} \right)}$$

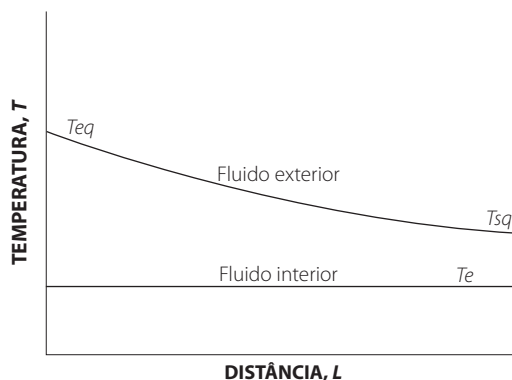


Figura 6.2. Evolução da temperatura num evaporador

Na indústria da refrigeração, os condensadores, tal como os evaporadores, podem ser classificados quanto ao fluido exterior, para onde se rejeita o calor em condensadores a ar e água, e num condensador especial, chamado de evaporativo. Este último é um permutador de calor aplicado ao nível da refrigeração industrial. Por sua vez, dentro de cada gama de classificação existem várias categorias, como nos evaporadores, conforme representado no diagrama anterior.

#### 6.3.4. CONDENSADORES DE CIRCULAÇÃO A AR NATURAL

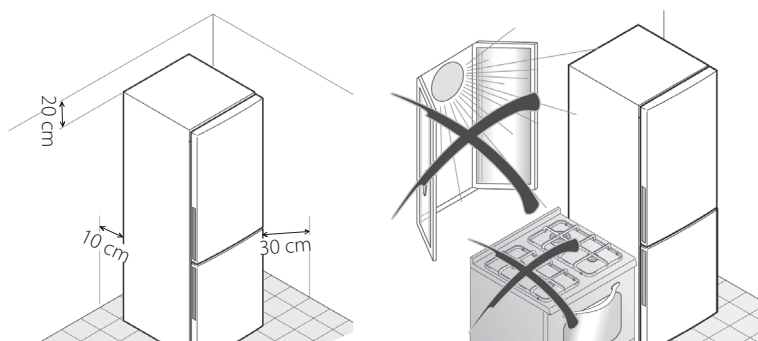
Estes condensadores têm a sua grande aplicação no uso do frio doméstico, em frigoríficos, arcas, etc. São fabricados em uma tubagem de cobre alhetada ou com umas varetas soldadas ao longo da serpentina. Normalmente, as alhetas são espaçadas de forma a oferecer pouca resistência à passagem livre do ar e evitar a acumulação de poeiras e sujidades na sua superfície.



**Figura 6.34.** Condensadores de circulação natural

Tal como nos evaporadores, a circulação do ar natural é feita pela diferença de densidades, originada pela diferença de temperaturas do ar ao contactar com a superfície quente. Ou seja, o ar mais frio entra em contacto com a parte inferior dos condensadores, aquece e eleva-se, dando lugar à entrada de um novo ar, formando assim as correntes convectivas naturais em torno destas superfícies quentes.

Para que as correntes de circulação naturais sejam estabelecidas, os condensadores em refrigeração doméstica devem ser posicionados de forma a evitar o corte à passagem do ar e os ganhos de calor extras.



**Figura 6.35.** Posicionamento do frigorífico

Fonte: *eka*

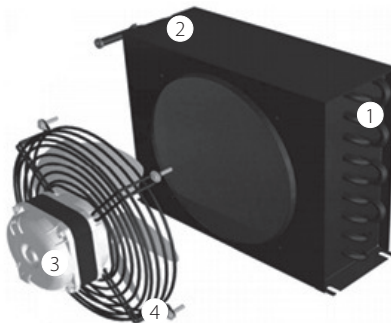
Recomenda-se um afastamento de 10 cm das paredes e um afastamento das fontes de calor internas das cozinhas, como os fornos, fogões, etc. e também um afastamento da exposição dos raios solares, pois estes, para além de aumentarem os ganhos de calor para o interior do compartimento a refrigerar, dificultam a condensação se a incidência solar for direta na superfície do condensador.

### 6.3.5. CONDENSADORES DE CIRCULAÇÃO A AR FORÇADO

#### 6.3.5.1. Constituição geral

Tal como anteriormente referido, os condensadores de circulação a ar forçado são construídos em várias formas geométricas e potências de condensação com aplicações em instalações individuais com um único evaporador e instalações centralizadas com múltiplos evaporadores. Dependendo da forma da bateria e do seu posicionamento, recebem os nomes de condensadores de bateria vertical, horizontal e em V.

Independentemente da posição da sua bateria, são quase todos constituídos pelos mesmos componentes, tal como os evaporadores: uma bateria de tubos de cobre com alhetas, de forma a aumentar a sua superfície de troca de calor; uma envolvente em chapa metálica, de proteção e suporte da bateria; e um conjunto de ventiladores, de forma a aumentar a capacidade de troca de calor. Na Figura seguinte mostram-se os principais componentes com um exemplo de um condensador de bateria direita.



**Figura 6.36.** Componentes de um condensador a ar forçado: 1 Bateria de tubos e alhetas; 2 Estrutura envolvente; 3 Ventilador; 4 Grelha de proteção do ventilador

Fonte: *Centauro*

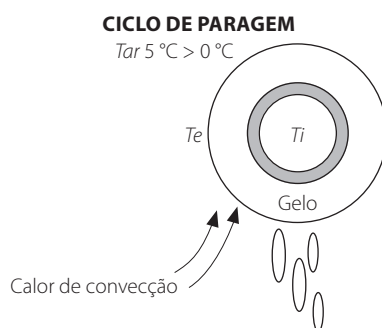
#### 6.3.5.2. Funcionamento

Nestes condensadores, e tal como nos de circulação natural, o ar é o fluido usado para remoção de calor da bateria. Neste caso, a ventilação é feita de forma forçada onde o ventilador força o ar a passar pela bateria quente, onde é aquecido desde um valor da temperatura ambiente exterior até um valor limite teórico igual à temperatura de condensação. Por exemplo, se um caudal de ar a 30 °C passar por uma bateria homogénea de um condensador a 45 °C, o ar sofre um aquecimento teórico de 15 °C, obtendo à saída os mesmos 45 °C. Na prática é comum considerar um aquecimento de 5 a 7 °C do ar ao passar pelo condensador (Creus, 1998).

de tempo regulares que cortam a passagem do fluido aos evaporadores por meio das eletroválvulas. Durante o período de tempo de corte do frio dá-se a fusão do gelo por ação do calor proveniente das fontes interna e externa ao tubo. Após o arranque do compressor, o sistema retorna a absorver calor em maior quantidade devido à menor resistência térmica nas paredes do evaporador.

Na Tabela 6.5 dá-se o número típico de descongelações desta natureza por dia e a duração de cada período de descongelação.

Considerando cerca de quatro paragens termostáticas por hora a 4,5 minutos, obtém-se um tempo de funcionamento diário do compressor de 16 horas. Este valor é o normalmente usado no dimensionamento das máquinas neste género de instalações.



**Figura 6.54.** Fluxo de calor convectivo

**Tabela 6.5.** Descongelação natural (instalações TN)

<b>ND</b>	<b>DU (minutos)</b>	<b>TD (horas)</b>	<b>TE (horas)</b>
2	30	1	23
4	20	1.33	22.7
6	15	1.5	22.5

*ND:* Número de descongelações por dia

*DU:* Duração das descongelações (minutos)

*TD:* Tempo total/dia das descongelações (horas)

*TE:* Tempo diário fora as descongelações

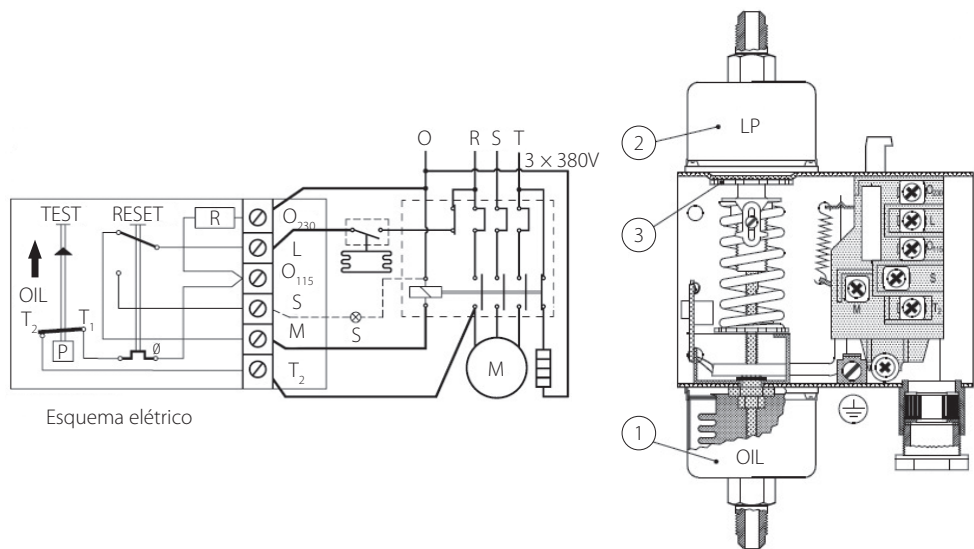
## 6.4.4. SISTEMAS DE DESCONGELAÇÃO FORÇADA

### 6.4.4.1. Descrição

Estando a temperatura do ar no interior dos meios congelados abaixo dos 0 °C, durante os períodos de descongelação, o calor contido no ar não tem energia suficiente para fundir o gelo dos evaporadores. Logo, nas instalações de temperaturas negativas obrigatoriamente têm de ser usados sistemas de descongelação forçada. No caso das instalações de temperaturas positivas, estes sistemas podem ou não ser usados. Os fabricantes recomendam que a descongelação forçada apenas seja feita quando as temperaturas ambientes de trabalho sejam inferiores a +2 °C.

Um pressóstato de óleo é constituído por duas tomadas de ligação de pressão: uma na saída da bomba de óleo e outra no cárter do compressor, LP. Têm um disco de ajuste que permite regular o diferencial de pressão aos terminais da bomba de óleo, ou seja, o valor mínimo a partir do qual é ativado o sistema de contagem de segurança. Para desativar a contagem do sistema de segurança, a pressão tem de aumentar 0,2 bar acima do valor regulador no disco. Este valor de 0,2 bar chama-se de diferencial de contactos.

Para o caso de um modelo particular usado na prática, a gama de valores da pressão diferencial anda na ordem dos 0,3 a 4,5 bar. O tempo de contagem típico do temporizador é de 45 segundos. No entanto, existem outros equipamentos com tempos diferentes (por exemplo, 60, 90 e 120 segundos).

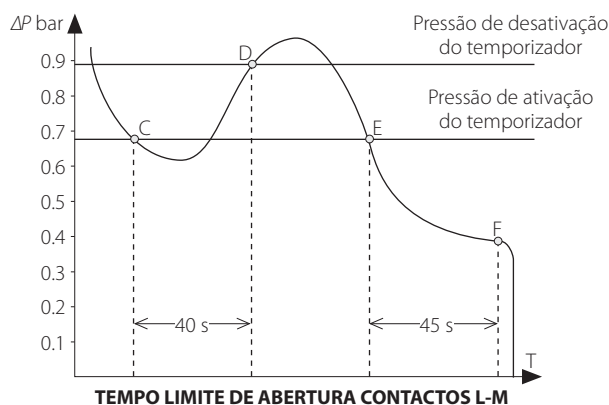


**Figura 7.43.** Corte de um pressóstato de óleo: 1 Ligação ao lado da pressão do sistema de lubrificação; 2 Ligação ao lado de aspiração da instalação frigorífica LP; 3 Disco de ajuste

Fonte: Danfoss

**Funcionamento:** Quando se fixa um valor diferencial de regulação para um equipamento com um temporizador de 45 segundos, impõe-se um regime de funcionamento à máquina.

Por exemplo, para um valor diferencial de regulação de 0,68 bar, é estabelecido um limite superior de 0,88 bar (diferencial de regulação + diferencial de contactos = 0,68 + 0,2 bar = 0,88 bar) e um outro inferior de 0,68 bar. O temporizador é ativado sempre que a pressão do óleo descer a um valor inferior a 0,68 bar e é desativado quando a pressão do óleo subir acima dos 0,88 bar num tempo inferior a 45 segundos e são estabelecidas as condições normais de funcionamento. Caso a pressão alcance os 0,88 bar num tempo superior aos 45 segundos, o temporizador abre os bornes L e M e o compressor para. O sistema só entra em funcionamento passados 2 minutos e depois de ser rearmado. A mesma situação de paragem do compressor ocorre se após a ativação do temporizador a pressão continuar a descer.

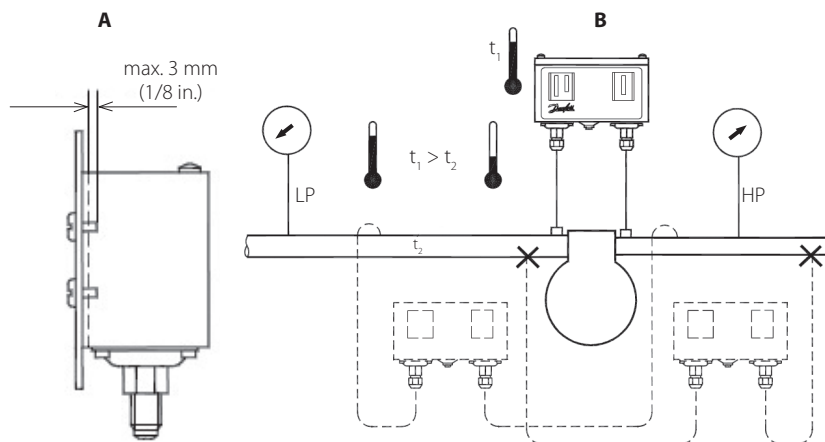


**Figura 7.44.** Evolução do diferencial de pressão durante o funcionamento do pressóstato

### 7.3.2.5. Instalação e afinações

**Instalação:** Para a instalação destes equipamentos é normalmente recomendada a sua colocação em suportes ou sobre superfícies planas (Figura 7.45.A). Quando houver o risco de água, deve ser colocada a chapa protetora na parte superior. Em situações de água intensa, deve isolar-se com estrutura que o torne estanque.

A ligação da tomada de pressão à tubagem de alta deve ser tal que o líquido não possa acumular-se nos foles (Figura 7.45.B), pois este pode danificar o pressóstato. Com o pressóstato montado no compressor, o tubo capilar deve ficar preso firmemente de modo que o conjunto compressor/instalação vibre como um todo. Assim, evita um possível aprisionamento do capilar que, com a vibração, podia conduzir à perda de carga do sistema.



**Figura 7.45.** Exemplo de instalação de pressóstatos

Fonte: Danfoss



**Afinações:** Os pressóstatos podem ser afinados antes de se colocarem na instalação. Para isso, usa-se uma garrafa de azoto e um manómetro para aumentar ou diminuir a pressão sobre o equipamento. O objetivo é afinar o equipamento de forma a garantir as pressões de arranque e de paragem.

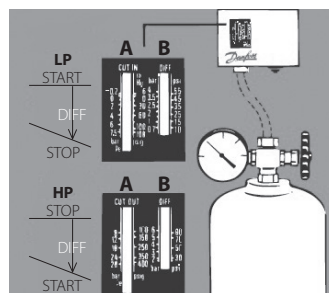
#### Pressóstato de baixa pressão:

1. **Arranque:** Inicialmente, fixa-se na escala de CUTIN (A) à pressão a que se pretende ligar o equipamento. De seguida, abre-se a garrafa de azoto de forma a injetar pressão no equipamento e observa-se em que ponto é que os contactos fecham. Caso o valor de atuação lido no manómetro não corresponda ao valor regulado pretendido, deve-se reajustar a escala, retirar a pressão e repetir a experiência. Esta operação deve ser feita até as pressões de leitura no manómetro e a pretendida serem aproximadamente iguais;
2. **Paragem:** Após fixa a pressão de arranque, determina-se a pressão de paragem com o ajuste na escala diferencial (B). Após fixo o diferencial, abre-se a garrafa de azoto de forma a injetar pressão no equipamento, observando-se em que ponto é que os contactos fecham. Depois, começa-se a vaziar aos poucos o gás, de forma a diminuir a pressão gradualmente, até que se verifique a abertura dos contactos do equipamento. Observa-se se o valor de abertura lido no manómetro corresponde ao pretendido. Caso contrário, deve reajustar-se o diferencial e repetir a experiência de verificação.

Pressão de paragem = Pressão arranque - Diferencial de ajuste

#### Pressóstato de alta pressão:

1. **Paragem:** Inicialmente, fixa-se na escala de CUTOUT (A) a pressão a que se pretende parar o equipamento. De seguida, abre-se a garrafa de azoto de forma a aumentar a pressão e observa-se em que ponto é que os contactos abrem. Da mesma forma que se fez na baixa pressão, se o valor de corte não corresponder ao lido no manómetro, deve reajustar-se a escala e repetir a experiência;
2. **Arranque:** O arranque é obtido pela regulação da escala no diferencial de ajuste (B). Após fixo o diferencial, abre-se a garrafa de azoto de forma a retirar pressão no equipamento e observa-se em que ponto é que os contactos fecham. Tal como nas situações anteriores, se as escalas pressóstato/manómetro não coincidirem, reajusta-se o diferencial e repete-se a experiência.



**Figura 7.46.** Exemplo de regulação

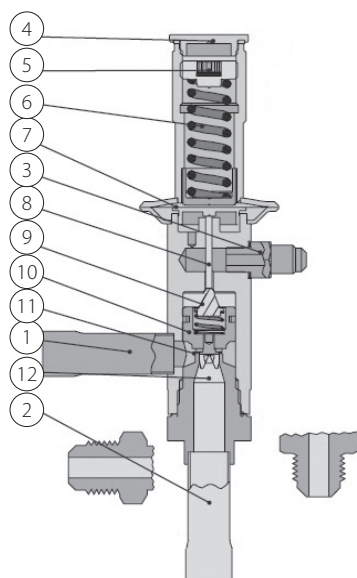
Fonte: Danfoss

Tal como as outras, também nesta o seu funcionamento está dependente dos parâmetros de seleção e no valor de regulação imposto.

Por exemplo, uma válvula para R134a com uma banda proporcional de 2 bar (*P-band*) e uma variação permissível de pressão funcionamento de carga normal de 1 bar (*offset*) trabalha entre 15,7 e 9 °C para a instalação em regime de carga normal, alcançando um valor de 0,67 °C na situação de carga mínima para a instalação, quando se acerta o *set-point* a 4 bar relativos. Ou seja, a válvula começa a abrir quando a pressão de aspiração descer abaixo dos 4 bar (15,7 °C), estando com um grau de abertura normal quando a pressão alcançar os 3 bar ( $4 - 1 = 3$  bar, 9 °C) e num grau de abertura máximo se a pressão chegar a 2 bar ( $4 - 2 = 2$  bar, 0,67 °C).

Esta outra válvula reguladora de capacidade pode desempenhar funções semelhantes à anterior de *bypass* na modelação da carga térmica do compressor em relação à carga real dos evaporadores ou pode ser usada para controlar as descongelações por gás quente. Tem uma estrutura semelhante à anterior, com a diferença no diafragma de separação entre a mola reguladora e o canal de escoamento do fluido.

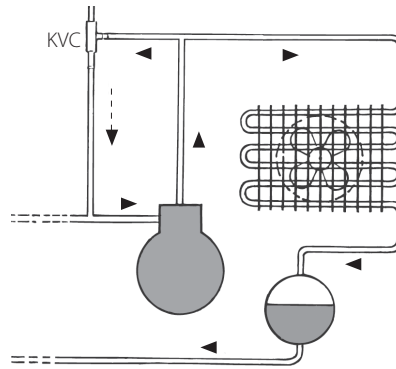
Esta é uma válvula servo-operada por um êmbolo sobre um orifício-piloto, sujeito à diferença de pressões entre a entrada e a saída da válvula; um diafragma sujeito à força da mola num dos lados e à força contrária no outro lado de uma pressão piloto, tomada na aspiração do compressor e à da pressão do fluido transmitido pelo êmbolo. Quando a pressão na aspiração tomada no orifício-piloto desce abaixo do valor de acerto da válvula, esta tende a abrir; quando a pressão sobe, a válvula tende a fechar.



**Figura 7.78.** Corte na válvula reguladora de capacidade para descongelações de gás quente: 1 Entrada; 2 Saída; 3 Ligação da pressão-piloto; 4 Tampa de proteção; 5 Parafuso de ajuste; 6 Mola; 7 Diafragma; 8 Pino de pressão; 9 Orifício-piloto; 10 Êmbolo; 11 Orifício de equalização de pressão; 12 Orifício principal

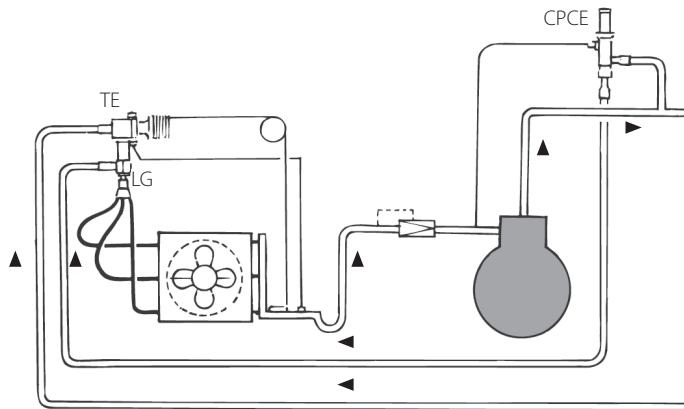
Fonte: Danfoss

**Instalação e afinação:** A reguladora de *bypass*, tal como referido anteriormente, deve ser usada sempre que se pretenda uma modelação externa do funcionamento do compressor em relação às condições de carga variável dos evaporadores. Instalam-se entre a linha de descarga do compressor e a linha de aspiração, originando um caudal de recirculação, evitando a diminuição de pressão de aspiração no compressor, e logo a sua paragem por baixa ou trabalho a pressões abaixo de zero.



**Figura 7.79.** Exemplo de instalação da válvula de *bypass*

Fonte: Danfoss

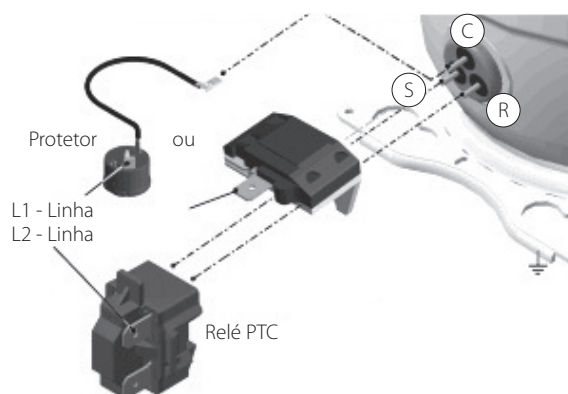


**Figura 7.80.** Exemplo de instalação da válvula de descongelação de gás quente

Fonte: Danfoss

Para afinar a reguladora de *bypass*, tal como todas as outras, deve partir-se do valor de fábrica e acertar o valor de pressão pretendido para o início de abertura da válvula *set*. Acima deste valor, a válvula permanece fechada e abaixo começa a abrir. Este valor pode corresponder à temperatura de evaporação numa situação de carga máxima da instalação, com todos os evaporadores a trabalhar. O valor de carga mínima da instalação corresponde à total abertura da válvula e depende do parâmetro *P-band* (por

- c. Os relés de PTC são formados por uma pastilha de material cerâmico que aumenta a sua resistência elétrica quando aquecido pela corrente que o atravessa. Ligado ao compressor normalmente sem condensadores, permite a condução da corrente pelo enrolamento de arranque, durante a partida. A passagem da corrente provoca um aquecimento, que aumenta a sua resistência e, conseqüentemente, diminui a corrente pelo enrolamento até se tornar praticamente zero. É normalmente usado em sistemas domésticos, onde o tempo entre os ciclos é suficiente para o seu arrefecimento, podendo iniciar assim novos arranques.

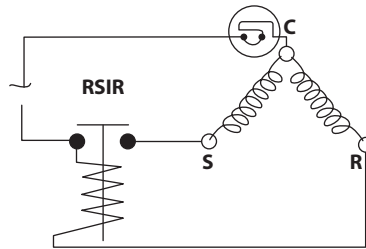


**Figura 8.42.** Relé PTC em PTCSIR

Fonte: Tecumseh

**Arranques:** Para compressores com enrolamentos de arranque com maior resistência do que o enrolamento de trabalho, existem dois sistemas típicos para arranque: os LST e os HST.

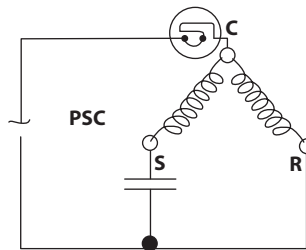
1. Os sistemas LST – *Low Starting Torque* – foram criados para vencer apenas as forças de inércia no momento de arranque e não grandes desníveis de pressão. Por exemplo, em situações com uso de tubo capilar, onde as pressões de aspiração e de descarga são iguais durante o arranque, como no caso dos frigoríficos domésticos. Uma experiência que se pode fazer para avaliar este arranque é chegar a um frigorífico doméstico que esteja a funcionar, desligar e voltar a ligar em seguida, sem que o sistema tenha tido tempo para um equilíbrio de pressões. O que se irá observar é que este não arranca e acaba por desligar pelo sistema de proteção térmica. O seu arranque só se irá observar após a instalação entrar em equilíbrio de pressões. Dois sistemas de LST são o RSIR e o PSC.
- RSIR – *Resistant Star – Induction Run* – ou indução do motor com resistência de arranque. O sistema leva um protetor térmico ligado ao borne comum do compressor, C, que protege das elevadas correntes; e um relé de intensidade com o contacto em série com o enrolamento de arranque. No início, como as correntes de passagem são elevadas, o relé fecha o contacto, pondo o enrolamento de partida em funcionamento. Após alcançada a velocidade normal, a corrente baixa e o relé abre o contacto, retirando o enrolamento de partida de funcionamento.



**Figura 8.43.** Sistema de arranque RSIR

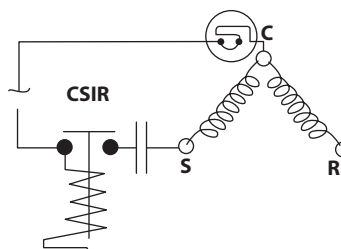
Fonte: Danfoss

- PSC – *Permanent-Split Capacitor* – ou sistema com condensador permanente. Neste caso, tal como o anterior, existe um protetor térmico ligado ao comum do compressor e um condensador em série com o enrolamento auxiliar. Neste caso, ambos os enrolamentos estão em funcionamento.
2. Os sistemas HST – *High Starting Torque* – foram criados para vencer as forças de inércia no momento de arranque e os desníveis de pressão. Dois sistemas de HST são:
- CSIR – *Capacitor Start – Induction Running* – ou indução de motor com condensador de arranque.



**Figura 8.44.** Sistema de arranque PSC

Fonte: Danfoss



**Figura 8.45.** Sistema de arranque CSIR

Fonte: Danfoss

Tal como o anterior, o RSIR, o sistema leva um protetor térmico ligado ao borne comum do compressor, C; e um relé de intensidade com o contacto em série com o enrolamento de arranque. No entanto, neste

2. Neste segundo caso os evaporadores mais altos devem canalizar o fluido para o evaporador mais baixo onde é feito um sifão. Esta situação evita que o óleo entre neste evaporador. O tubo ascendente deve seguir do evaporador que está no nível mais baixo, juntando-se ao tubo de aspiração por meio de picagens superiores. Sempre que necessário deve ser instalado um sistema de dupla aspiração quando as condições de carga mínima não sejam suficientes para permitir as velocidades normais de arrastamento do óleo.

### Exemplo de evaporadores sobrepostos:

Pretende-se dimensionar as linhas individuais de dois evaporadores sobrepostos de uma rede de frio de um supermercado que trabalha a R404A com uma evaporação de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Os evaporadores ficam instalados abaixo de uma linha de aspiração comum. Sabendo que o evaporador mais baixo tem uma potência de 4,0 kW e fica a 7 m da linha de aspiração e o mais alto de 8 kW, fica a 4 m da linha de aspiração, determine os diâmetros de ambas as tubagens.

$$Qf1 = 4\text{ kW}, L = 7\text{ m}$$

$$Qf2 = 8\text{ kW}, L = 4\text{ m}$$

Perda de carga admissível em cada tubo,  $\Delta Pt = 4178\text{ Pa}$  ( $\approx 0,5\text{ K}$ )

### Solução:

Por consulta da tabela e/ou gráficos apresentados anteriormente sabe-se que:

- Para a linha de 7 m com o evaporador de 4 kW o diâmetro pode ser de 3/4". Neste caso a velocidade é de 10 m/s e a perda de carga na ordem dos  $3500 < 4178\text{ Pa}$  ( $0,5\text{ kPa/m} \times 7\text{ m} \times 1000$ ).
- Para a linha de 4 m com o evaporador de 8 kW o diâmetro pode ser de 1". Neste caso a velocidade é de 11,6 m/s e a perda de carga na ordem dos  $1800 < 4178\text{ Pa}$  ( $0,45\text{ kPa/m} \times 4\text{ m} \times 1000$ ).

**Evaporadores paralelos:** Nas instalações com evaporadores situados ao mesmo nível e paralelos uns aos outros devem ser tidos em conta alguns cuidados para que se garanta o retorno do óleo quer estes se situem acima, abaixo ou de uma forma mista: acima e abaixo da linha comum de aspiração.

1. Evaporadores situados acima da linha de aspiração. Neste caso as saídas dos evaporadores são ligadas a um coletor comum que passa por todos eles situados abaixo das linhas de saída. Neste caso não existe o perigo do óleo escoar para os evaporadores inativos e a descida da tubagem comum não necessita de nenhum tipo de sifão uma vez que se trata de um ramo descendente. No dimensionamento do coletor comum podem ser feitas as considerações típicas para tubagens de aspiração horizontais de forma a manter as perdas de carga e velocidades adequadas em situações extremas de funcionamento.

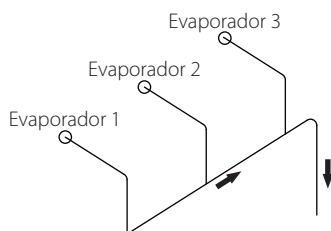
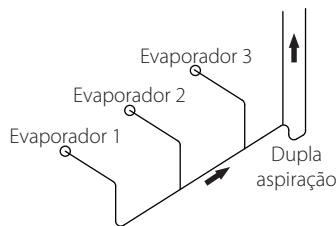


Figura 9.39. Evaporadores acima da linha de aspiração

2. Os evaporadores situados abaixo da linha de aspiração, tal como na situação anterior, também as saídas são ligadas a um coletor comum situado abaixo dos evaporadores. Este recebe o fluido vindo de cada um dos evaporadores e envia-o para a linha de aspiração comum situada acima por meio de um tubo vertical ascendente. Na base deste deve ser feito um sifão que, dependendo do regime de carga, pode ou não levar o sistema de dois tubos. Tal como anteriormente referido, nos sistemas em que a carga mínima fica abaixo dos 25% da carga máxima deve ser instalado o sistema de dois tubos, caso contrário pode ser adotado apenas um único tubo.



**Figura 9.40.** Evaporadores abaixo da linha de aspiração

#### Exemplo para evaporadores paralelos:

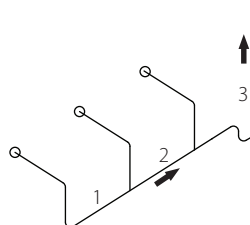
Pretende-se dimensionar um coletor comum a 3 evaporadores paralelos e com linha vertical ascendente de 10 metros. Os evaporadores são feitos num tubo de cobre de 5/8" A instalação trabalha a R404A e  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura de evaporação e  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  de condensação. Cada evaporador tem uma potência frigorífica de 2,0 KW. Considere que, em carga máxima estão todos ligados e em carga mínima está um evaporador.

$Q_f = 2\text{ kW}$ , cada evaporador

Distância entre evaporadores,  $L = 4\text{ m}$

Linha vertical ascendente,  $L = 11\text{ m}$

Perda de carga total admissível,  $\Delta Pt = 5006\text{ Pa} \approx 0,6\text{ K}$



#### Solução:

Através da consulta dos gráficos anteriormente apresentados, sabe-se que:

- Para a linha 1 pode ser adotado o diâmetro de 3/4". A velocidade é de 5 m/s e a perda de carga na ordem dos 600 Pa ( $0,15\text{ kPa/m} \times 4\text{ m} \times 1000$ ).
- Para a linha 2, o diâmetro pode ser de 7/8". A velocidade é de 7,5 m/s e a perda de carga na ordem dos 1000 Pa ( $0,25\text{ kPa/m} \times 4\text{ m} \times 1000$ ).



Termo-anemómetro de fio quente

Termo-anemómetro de hélice

**Figura 10.14.** Termo anemómetroFonte: *Testo*

**Pinça multímetro:** São equipamentos que servem para medir grandezas elétricas, tais como: intensidade de corrente; tensão e resistências ôhmicas. Estas são usadas para avaliar o funcionamento de todas as máquinas que fazem parte de uma instalação frigorífica, sobretudo os compressores, ventiladores e resistências elétricas.

**Figura 10.15.** Pinças multimétricasFonte: *Fluke*

**Balanças:** São equipamentos que servem para medir a quantidade de gás de carga/descarga numa instalação. As balanças para uso no terreno devem ser o mais simples possível, como por exemplo uma balança do tipo portátil, com capacidades até 25 kg, é o suficiente para carga em pequenas instalações. A garrafa é pesada, tanto antes como depois do serviço e, através do cálculo da diferença, é possível saber a quantidade de gás usado.



até 100 kg

até 25 kg

**Figura 10.16.** BalançasFonte: *Discolis, Pecomark*