

REFRIGERAÇÃO

VOLUME 1

Manual de apoio ao ensino e à profissão - Fundamentos

António José da Anunciada Santos

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

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

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

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

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

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

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



AUTOR

António José da Anunciada Santos

TÍTULO

Refrigeração I - Manual de apoio ao ensino e à profissão - Fundamentos

EDIÇÃO

Publindústria, Edições Técnicas

Praça da Corujeira n.º 38 · 4300-144 PORTO | www.publindustria.pt

DISTRIBUIÇÃO

Engebook - Conteúdos de Engenharia e Gestão

Tel. 220 104 872 · Fax 220 104 871 · E-mail: apoiocliente@engebook.com · www.engebook.com

CAPA

David Manuel Nunes Domingos

DESIGN

Publindústria, Produção de Comunicação, Lda.



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: 978-989-723-174-2

E-book: 978-989-723-175-9

Engebook - Catalogação da publicação

Família: Engenharia

Subfamília: Refrigeração/AVAC

Classes: Técnica e Universitária

Índice

AGRADECIMENTOS

XVII

1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA FÍSICA E REFRIGERAÇÃO BÁSICA	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. BREVE HISTÓRIA DA REFRIGERAÇÃO	2
1.3. PRINCÍPIOS DA FÍSICA	2
1.3.1. Grandezas e unidades	2
1.3.1.1. Comprimento e grandezas derivadas (m)	4
1.3.1.2. Massa e grandezas derivadas (m)	7
1.3.1.3. Trabalho, energia, calor e potência	17
1.3.1.4. Temperatura e escalas	19
1.3.1.5. Termômetros	23
1.3.2. Estados da matéria, calor sensível e latente	26
1.3.2.1. Estados da matéria	26
1.3.2.2. Mudança de estados e evoluções associadas	28
1.3.2.3. Calor sensível e latente	30
1.3.3. Processos/Transformações em gases	31
1.3.3.1. Teoria cinética, gás ideal e real	31
1.3.3.2. Processos isotérmicos ($T = \text{constante}$)	33
1.3.3.3. Processos isobáricos ($P = \text{constante}$)	35
1.3.3.4. Processos isocóricos ou isométricos ($V = \text{constante}$)	36
1.4. PRINCÍPIOS DA TERMODINÂMICA	38

1.4.1. Primeira lei da termodinâmica	38
1.4.2. Segunda lei da termodinâmica	40
1.4.3. Ciclo de Carnot	41
1.5. TÓPICOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	42
1.5.1. Descrição	42
1.5.2. Condução unidimensional estacionária	43
1.5.2.1. Descrição	43
1.5.2.2. Superfícies planas	44
1.5.2.3. Superfícies cilíndricas e esféricas	47
1.5.3. Convecção	50
1.5.3.1. Descrição	50
1.5.3.2. Convecção exterior	52
1.5.4. Radiação	55
1.5.5. Convecção e radiação combinadas	58
1.5.6. Diferença de temperatura média logarítmica, ΔT_{lm}	60
1.5.7. Variação da temperatura nas tubagens	61
1.5.8. Condução transiente em sólidos	62
1.6. PRINCÍPIOS DA REFRIGERAÇÃO	63
1.6.1. Produção básica do frio	63
1.6.1.1. Sistemas líquidos, de gelo e compressão mecânica	63
1.6.1.2. Sistemas de absorção	67
1.6.1.3. Sistemas de vácuo e termoelétrico	71
1.6.2. Diagrama de Mollier, $P-h$	72
1.6.2.1. Descrição	72
1.6.2.2. Constituição	73
1.6.3. Ciclos em instalações frigoríficas	75
1.6.3.1. Descrição	75
1.6.3.2. Tipos e classificações	76
1.6.3.3. Ciclo AX1: Expansão direta DX e 1 etapa	76
1.6.3.4. Ciclo AX3: Inundado por bomba e 1 etapa	94
1.6.3.5. Ciclo AX2: Inundado por gravidade e 1 etapa	95
1.6.3.6. Ciclo AX1: Expansão direta DX e 2 etapas	96
1.6.3.7. Ciclo AX3: Inundado por bomba e 2 etapas	99
1.6.3.8. Ciclo AX3: Inundado por bomba em cascata	101
1.6.4. Noções de controlo em instalações frigoríficas	101
1.6.4.1. Compressor	102
1.6.4.2. Condensador	103
1.6.4.3. Controlo do nível de líquido	105
1.6.4.4. Evaporador	106
1.7. PRINCÍPIOS DA PSICROMETRIA	108

1.7.1. Descrição	108
1.7.2. Ar atmosférico	108
1.7.3. Pressão de ar seco e vapor de água	110
1.7.4. Parâmetros do ar húmido	111
1.7.4.1. Humidade absoluta, W	111
1.7.4.2. Humidade relativa, HR	112
1.7.4.3. Temperatura de orvalho do ar	113
1.7.4.4. Temperatura de bolbo húmido do ar	113
1.7.4.5. Entalpia do ar húmido, h_{ah}	115
1.7.4.6. Volume específico do ar, ve	116
1.7.5. Diagrama psicrométrico	116
1.7.6. Processos psicrométricos	118
1.7.6.1. Aquecimento sensível	118
1.7.6.2. Arrefecimento com desumidificação	119
1.7.6.3. Humidificação	122
1.7.6.4. Mistura de caudais	126
2. MÁQUINAS DE FRIO	129
2.1. INTRODUÇÃO	129
2.2. MÁQUINAS DE FRIO DOMÉSTICO E COMERCIAL (PEQUENA POTÊNCIA)	130
2.2.1. Descrição	130
2.2.2. Tipos e classificações	131
2.2.3. Frigoríficos e arcas	132
2.2.4. Abatedores de temperatura	134
2.2.5. Armários e bancadas frigoríficas	135
2.2.6. Máquinas de gelo	137
2.3. VITRINAS E MÓVEIS FRIGORÍFICOS	141
2.3.1. Descrição	141
2.3.2. Tipos e classificações	143
2.3.3. Constituição básica	147
2.3.4. Processos de produção do frio	148
2.3.5. Parâmetros dos móveis frigoríficos	151
2.4. CÂMARAS FRIGORÍFICAS	153
2.4.1. Descrição	153
2.4.2. Constituição básica de uma câmara frigorífica pré-fabricada	154
2.4.3. Tipos e classificações	167
2.4.4. Arrumos, circulação e infiltrações do ar em câmaras	168
2.4.5. Princípios de dimensionamento	171
2.5. CÂMARAS PARA ATMOSFERA CONTROLADA	175
2.5.1. Descrição	175

2.5.2. Estrutura das câmaras	175
2.5.3. Sistema e equipamentos de atmosfera	177
2.5.4. Operações e controlos	181
2.6. SECADORES	184
2.6.1. Descrição	184
2.6.2. Secadores de enchidos e presuntos	184
2.6.3. Secadores de bacalhau	185
2.7. TÚNEIS DE ARREFECIMENTO E CONGELAÇÃO	187
2.7.1. Descrição	187
2.7.2. Tipos e classificações	188
2.7.3. Túneis a ar	189
2.7.4. Túneis de embalagens	194
2.7.5. Túneis de imersão salmoura e placas	196
2.7.6. Túneis criogénicos e criomecânicos	198
2.8. FRIO EM TRANSPORTES MARÍTIMOS E TERRESTRES	199
2.9. MAQUINARIA DE PRODUÇÃO DE FRIO	200
2.9.1. Unidades condensadoras	200
2.9.2. Centrais térmicas	202
2.9.3. Unidades compactas	204
2.9.4. Casa de máquinas	209
2.10. ENTREPOSTO FRIGORÍFICO	211
3. CARGAS TÉRMICAS	213
3.1. INTRODUÇÃO	213
3.2. BALANÇO FRIGORÍFICO	214
3.2.1. Descrição	214
3.2.2. Ganhos por transmissão, $Q1$	214
3.2.3. Ganhos pelos produtos, $Q2$	224
3.2.4. Ganhos por entrada de ar, $Q3$	233
3.2.5. Ganhos internos, $Q4$	237
3.2.6. Potência frigorífica	240
3.3. INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	246
3.4. PARÂMETROS AUXILIARES	254
3.4.1. Carga total em câmaras	254
3.4.2. Carga diária em câmaras	256
3.4.3. Propriedades térmicas dos alimentos	258
3.4.4. Coeficiente de troca de calor por convecção	263
3.4.5. Tempos de arrefecimento dos produtos	265
3.4.6. Respiração de frutas e legumes	269
3.4.7. Transpiração de frutas e legumes	271

3.5. RECOMENDAÇÕES PARA CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS	273
3.5.1. Pescado e produtos da pesca	273
3.5.2. Carne e produtos derivados	274
3.5.3. Aves	275
3.5.4. Frutas e verduras	276
3.5.4.1. Refrigeração normal	276
3.5.4.2. Atmosfera controlada	282
3.5.4.3. Desverdização e maturação acelerada de frutos	283
3.5.4.4. Congelação	284
3.5.5. Outros produtos	284
4. ISOLAMENTO EM REFRIGERAÇÃO	287
4.1. INTRODUÇÃO	287
4.2. ISOLAMENTO TÉRMICO	288
4.2.1. Descrição/tipos	288
4.2.2. Aglomerado negro de cortiça (ANC)	288
4.2.3. Lãs minerais, como a lã de vidro e a lã de rocha	291
4.2.4. Poliestireno expandido	292
4.2.5. Poliuretano expandido	293
4.2.6. Espumas elastoméricas	294
4.3. ESPESSURA DO ISOLAMENTO TÉRMICO	295
4.3.1. Descrição	295
4.3.2. Método tabelar para superfícies planas	295
4.3.3. Método do fluxo de calor para superfícies planas	296
4.3.4. Método da espessura económica para superfícies planas	299
4.3.5. Método para controlo da condensação em superfícies planas e cilíndricas	301
4.4. PARÂMETROS DO ISOLAMENTO	304
4.4.1. Condutividade térmica	305
4.4.2. Efeitos da humidade	306
4.4.3. Parâmetros de humidade	306
4.4.4. Alteração da temperatura num tubo isolado	309
4.5. TÉCNICAS GERAIS DE INSTALAÇÃO DO ISOLAMENTO	310
5. FLUIDOS REFRIGERANTES	313
5.1. INTRODUÇÃO	313
5.2. HISTÓRIA DOS FLUIDOS REFRIGERANTES	314
5.3. FLUIDOS REFRIGERANTES	316
5.3.1. Definições	316
5.3.2. Tipos de fluidos primários	317
5.3.3. Noções da nomenclatura	319

5.3.4. Enquadramento regulamentar dos fluorados	321
5.3.5. Características dos fluidos refrigerantes	322
5.3.6. Aplicações	329
5.3.7. Análise de fluidos refrigerantes	330
5.3.8. Fluidos primários (fluorados HFC, amónia e CO ₂)	335
5.3.9. Fluidos secundários	342
5.4. ÓLEOS REFRIGERANTES	348
5.4.1. Tipos de óleos e compatibilidades com fluidos	349
5.4.2. Características	350
5.5. MANUSEAMENTO DE FLUIDOS	352
5.5.1. Garrafas	352
5.5.2. Segurança e regras básicas com fluidos	355
5.5.3. Vácuo à instalação	358
5.5.4. Carga de fluidos HFC	361
5.5.5. Recuperação de fluidos HFC	366
5.5.6. Carga de dióxido de carbono	369
5.5.7. Operações com o óleo	369
5.5.8. Reconversão das instalações	372
5.6. TESTES AO SISTEMA E VERIFICAÇÃO DE FUGAS	373
5.6.1. Testes de pressão	373
5.6.2. Verificação da quantidade de fluido na instalação	376
5.6.3. Verificação de fugas	378
ANEXOS	383
TABELAS	383
BIBLIOGRAFIA	391

1. Conceitos Fundamentais da Física e Refrigeração Básica

1.1. INTRODUÇÃO

Os assuntos apresentados neste capítulo servem como base de suporte aos temas abordados nos vários capítulos deste livro. Foram organizados em cinco pontos, de forma a abranger os principais temas da física mais relevantes nesta área.

No primeiro ponto apresentam-se os princípios básicos, como as grandezas e unidades básicas, os estados da matéria e alterações associadas, definições de calor sensível e latente e os processos ou transformações básicas em gases.

No segundo ponto são feitos os enunciados da primeira e segunda leis da termodinâmica e a abordagem ao ciclo de Carnot, como ciclo ideal das máquinas térmicas.

No terceiro ponto são apresentados tópicos de transmissão do calor relacionados com a condução unidimensional estacionária, nas três formas geométricas básicas, a convecção exterior e a radiação. São apresentadas as equações básicas para um cálculo individual e conjunto (convecção e radiação combinadas) das formas de transmissão do calor. Neste ponto é apresentado ainda uma forma de cálculo para a variação da temperatura em tubagens e outra para condução transiente em sólidos.

No quarto ponto são apresentados os princípios básicos da refrigeração, distribuídos por quatro assuntos. No primeiro apresentam-se as três principais formas básicas de produzir o frio; num segundo assunto faz-se uma descrição do diagrama de Mollier ($P-h$) usado neste âmbito; num terceiro assunto apresentam-se os ciclos frigoríficos. O último tema apresentado vai para as noções de controlo associadas às instalações frigoríficas.

No quinto e último ponto deste capítulo são apresentados os princípios da psicrometria: ar atmosférico e sua constituição, pressão de vapor e pressão do ar seco, parâmetros do ar húmido, diagrama psicrométrico e processos psicrométricos básicos.

1.2. BREVE HISTÓRIA DA REFRIGERAÇÃO

A refrigeração é uma ciência muito antiga, que é conhecida como a arte de produzir o frio de forma artificial. Segundo dados históricos, o povo estoniano que vivia no norte da Europa no tempo de Alfredo, “O Grande”, usava uma técnica para conservar os corpos mortos pelo menos durante seis meses, enquanto durava a festa fúnebre, com todos os amigos e parentes. Não há indicações de como os estonianos conseguiam obter uma refrigeração tão eficiente ou se estes a aplicavam também na conservação das carnes, frutas e verduras. No entanto, estes feitos já são conhecidos no ano de 860 a.C.

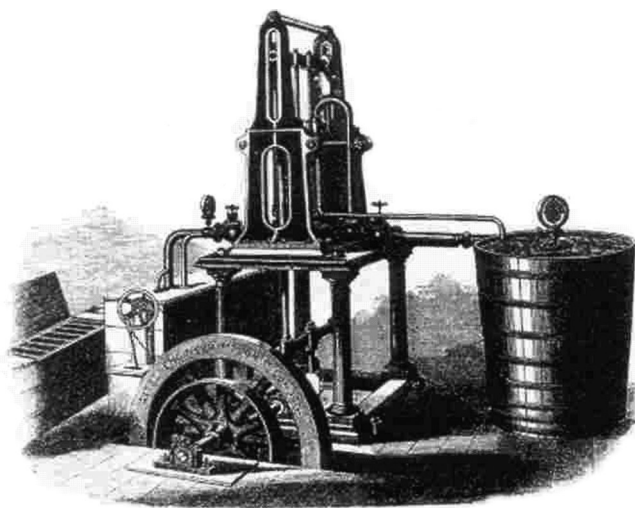


Figura 1.1. Máquinas iniciais de produção de gelo

Fonte: <http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/História>

Em 1755, o professor universitário Willian Cullen produziu gelo de forma artificial, usando a vaporização do éter a baixa pressão para facilitar a sua vaporização. No entanto, o processo de remoção de calor à água pelo éter exigia um grande consumo de fluido e uma constante reposição. Logo, pensou-se em arranjar uma solução que permitisse condensar o éter num circuito fechado, que resultou na máquina de gelo patenteada por Jacob Perkins em 1834. O primeiro equipamento real foi construído por James Harrison (escocês) entre 1856 e 1857. Em 1862, numa exibição internacional em Londres, Daniel Siebe apresentou este equipamento à sociedade da época.

1.3. PRINCÍPIOS DA FÍSICA

1.3.1. GRANDEZAS E UNIDADES

Uma grandeza ou uma dimensão é a forma pela qual uma variável física é expressa quantitativamente; uma unidade é o modo particular de ligar um número à grandeza.

Exemplo:

Grandeza = Comprimento	
Unidades numéricas para expressão do comprimento	Variáveis associadas
Centímetros Metros Polegadas (entre outros)	Distância Deslocamento Largura Altura (entre outros)

Tipos (SI): As grandezas são primárias ou secundárias. As primárias são sete e são aquelas a partir das quais todas as outras são derivadas. No sistema internacional de unidades, as grandezas primárias são as indicadas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1. Grandezas primárias

Grandeza	Nome	Símbolo
Comprimento	Metro	m
Massa	Quilograma	kg
Tempo	Segundo	s
Intensidade corrente	Ampère	A
Temperatura	Kelvin	K
Intensidade luminosa	Candela	Cd
Quantidade de matéria	Mole	mol

As grandezas secundárias são derivadas das primárias.

Nas tabelas seguintes apresentam-se as grandezas secundárias de interesse para esta área, bem como a nomenclatura e fatores de múltiplos e submúltiplos.

Tabela 1.2. Grandezas secundárias

Grandeza	Nome	Símbolo
Área	Metro quadrado	m ²
Volume	Metro cúbico	m ³
Velocidade	Metro por segundo	m/s

Grandeza	Nome	Símbolo
Força	Newton	N
Densidade	Quilograma por metro cúbico	kg/m³
Peso volúmico	Newton por metro cúbico	N/m³
Pressão	Pascal	Pa
Viscosidade dinâmica	Pascal por segundo	Pa.s
Viscosidade cinemática	Metro quadrado por segundo	m²/s
Trabalho, energia, calor	Joule	J
Potência, fluxo energético	Watt	W
Entalpia	Joule	J
Entropia	Joule por Kelvin	J/K
Condutividade térmica	Watt por metro Kelvin	W/(mK)
Quantidade de eletricidade	Coulomb	C
Tensão elétrica, diferença de potencial e força eletromotriz	Volt	V
Resistência elétrica	Ohm	Ω
Frequência	Hertz	Hz

Tabela 1.3. Múltiplos e submúltiplos

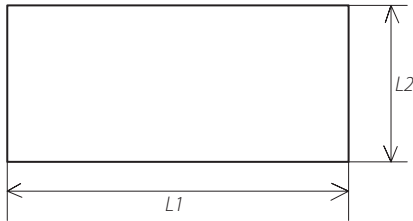
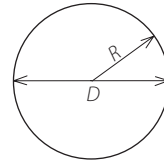
Múltiplos			Submúltiplos		
Prefixo	Símbolo	Fator de multiplicação	Prefixo	Símbolo	Fator de multiplicação
deca	da	10	deci	d	0,1 = 10 ⁻¹
hecto	h	100 = 10 ²	centi	c	0,01 = 10 ⁻²
quilo	k	1000 = 10 ³	mili	m	0,001 = 10 ⁻³
mega	M	1000 000 = 10 ⁶	micro	μ	0,000 001 = 10 ⁻⁶
giga	G	1000 000 000 = 10 ⁹	nano	n	0,000 000 001 = 10 ⁻⁹
tera	T	1000 000 000 000 = 10 ¹²	pico	p	0,000 000 000 001 = 10 ⁻¹²

1.3.1.1. Comprimento e grandezas derivadas (m)

O comprimento é uma grandeza primária que se encontra associada à distância entre dois pontos. No SI mede-se em metros, e associa-se normalmente às medidas dos lados dos sólidos retangulares, L1 e L2, ao diâmetro, D, e ao raio, R, de uma circunferência. O perímetro é uma medida dos contornos dos objetos, que também usam o metro, onde as equações usadas para o retângulo e circunferência são:

$$P = 2 \times (L1 + L2)$$

$$P = 2 \times \pi \times R = \pi \times D$$

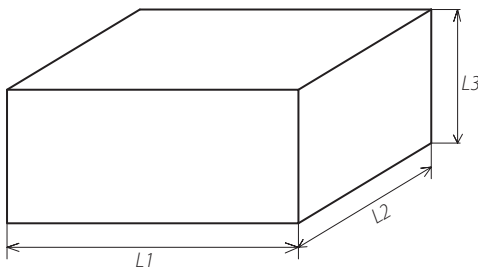
Retângulo:**Circunferência:****Figura 1.2.** Retângulo e circunferência

Área ou superfície (m²): É uma grandeza secundária que deriva do comprimento. No SI mede-se em metros quadrados. As equações de cálculo para as áreas de interesse nos principais sólidos geométricos são:

Paralelepípedo:

$$Asr = L1 \times L2$$

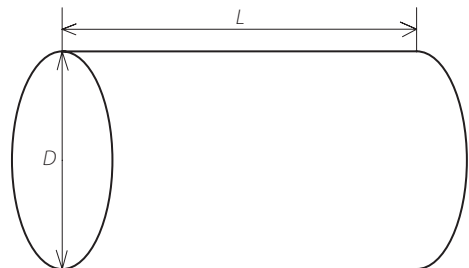
$$Asu = 2 \times (L1 \times L3 + L2 \times L3 + L1 \times L2)$$

**Cilindro:**

$$Asr = \frac{\pi \times D^2}{4} = \pi \times R^2$$

$$Asu = \pi \times D \times L \text{ (sem topos)}$$

$$Asu = \pi \times D \times L + \frac{\pi \times D^2}{2} \text{ (com topos)}$$

**Figura 1.3.** Paralelepípedo e cilindro esfera

$$Asr = \frac{\pi \times D^2}{4} = \pi \times R^2$$

$$Asu = \pi \times D^2 = 4 \times \pi \times R^2$$

Onde:

Asr = Área da secção reta em m^2 ;

Asu = Área da superfície exterior do sólido em m^2 ;

$L1, L2, L3, L, D, R$ = Dimensões dos sólidos em m.

Volume (m^3): É uma grandeza secundária que deriva do comprimento. No SI, mede-se em metros cúbicos. As equações de cálculo para os volumes dos sólidos geométricos anteriores são:

Esfera:

$$V = \frac{4}{3} \times \pi \times R^3 = \frac{1}{6} \times \pi \times D^3$$

Cilindro:

$$V = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L = \pi \times R^2 \times L$$

Paralelepípedo:

$$V = L1 \times L2 \times L3$$

Onde:

V = Volume dos sólidos em m^3 ;

$L1, L2, L3, L, D, R$ = Dimensões dos sólidos em m.

Velocidade (m/s): É uma grandeza derivada do comprimento e do tempo. Também é uma grandeza vetorial, porque tem um sentido, uma direção e um ponto de aplicação e um valor. Define-se como sendo a distância, ΔL , que um corpo percorre num intervalo de tempo, Δt . No SI mede-se em m/s.

$$v \text{ (m/s)} = \frac{\Delta L \text{ (m)}}{\Delta t \text{ (s)}}$$

Caudal volúmico (m^3/s): Grandeza derivada do volume e do tempo. Ou seja, é o volume de fluido que passa numa secção reta de tubagem por unidade de tempo. Mede-se no SI em m^3/s . A equação geral e as aplicadas para a forma paralelepédica e cilíndrica das figuras anteriores são:

Geral:

$$V = \frac{v \text{ (m}^3\text{)}}{t \text{ (s)}} = Asr \times v$$

Paralelepipedica:

$$V = (L2 \times L3) \times v$$

5. Fluidos Refrigerantes

5.1. INTRODUÇÃO

Numa instalação frigorífica, seja ela para a produção de frio em refrigeração ou em ar condicionado, os fluidos refrigerantes são os agentes de transporte do calor entre dois meios – um dos quais donde se retira o calor e o outro para onde este é jogado. Para desenvolver este trabalho, as instalações frigoríficas usam dois tipos de fluidos: os primários, que circulam diretamente nas máquinas frigoríficas, e os secundários, que fazem o transporte entre a máquina e os locais para onde se quer jogar ou retirar o calor. Normalmente, os fluidos secundários não causam grandes problemas nem ao homem nem ao meio ambiente, pois estes são normalmente fluidos naturais (água). Já os fluidos primários são, em grande maioria, não naturais e podem ser prejudiciais para o homem e à própria natureza. Ao longo dos tempos, estes fluidos têm vindo a ser estudados de forma a diminuir os perigos quer para o ser humano como para o ambiente. A identificação dos fluidos, as suas características, as suas aplicações e o seu manuseamento são aspetos de interesse para o profissional do frio.

No primeiro ponto faz-se uma abordagem histórica do percurso dos fluidos refrigerantes primários desde os seus princípios, passando pelos dias de hoje e uma previsão futura.

No segundo ponto descrevem-se as definições básicas de fluidos: tipos e nomenclatura usada, regulamentações associadas ao seu uso, características, aplicações e apresenta-se a informação tabelar e gráfica das propriedades termodinâmicas dos principais fluidos primários e secundários usados atualmente na refrigeração comercial e industrial.

O terceiro ponto descreve os óleos e a sua relação com os fluidos refrigerantes, bem como as suas principais características.

No quarto ponto descreve-se um conjunto de informações relacionadas com o manuseamento dos fluidos – características das garrafas de fluido e segurança e regras básicas com os fluidos – que

passam pelos riscos e perigos e respectivas medidas a tomar em caso de ocorrência de acidente e os manuseamentos aconselhados a ter com as garrafas. Neste ponto apresentam-se também as definições e procedimentos aconselhados para as operações de vácuo, carga e recuperação de fluidos, mudança de óleo e reconversão das instalações.

No quinto e último ponto é apresentada informação prática e regulamentar em relação às operações e teste de pressão, verificação das quantidades de fluido nas instalações e verificação de fugas.

5.2. HISTÓRIA DOS FLUIDOS REFRIGERANTES

O problema dos fluidos refrigerantes desde os tempos iniciais da sua origem até aos dias de hoje tem sido centrado nos danos que estes causam ao homem, ou seja, na sua toxicidade e inflamabilidade. No entanto, inicialmente as questões ambientais estiveram postas de lado até cerca de 1974. Com o problema da degradação da camada de ozono, causada pelo forte uso dos fluidos halogenados, estas questões começaram a ser levadas em linha de conta.

Os fluidos inicialmente descobertos, por volta de 1834, foram a base do éter, que é um fluido muito tóxico e inflamável. Este foi usado numa máquina cíclica para a produção de frio. Mais tarde, outros fluidos com menos riscos que o anterior foram sendo desenvolvidos, mas também na base do éter. Por exemplo, 32 anos depois, em 1866, apareceu uma mistura de petróleo, nafta e etér chamada de *chemogene*. Durante mais de 64 anos, foram sendo descobertos e usados outros fluidos menos tóxicos e inflamáveis que os anteriores, tal como o amoníaco, que surgiu por volta de 1872, e o dióxido de carbono, em 1886. Estes dois últimos fluidos, ainda hoje bastante usados e com previsões de uma futura intensificação, dominaram o mercado e promoveram o desenvolvimento da refrigeração. No início do século XX, a produção do frio estava bastante desenvolvida industrialmente, mas com algumas limitações ao nível do ar climatizado. Em 1930 surge a era dos halogenados, com a descoberta do R12 (fluido com cloro, flúor e carbono, CFC), como o primeiro fluido não tóxico e não inflamável a ser usado nos frigoríficos domésticos.

Até aos começos de 1970, a descoberta e utilização dos CFC foi intensificada, dando origem a uma série de investigações que mudaram o rumo da história. Em 1974, dois investigadores apresentam a hipótese dos CFC, depois de evacuados para a atmosfera sob a ação dos raios ultravioletas do Sol poderem dissociar-se, desprendendo iões de cloro que são capazes de destruir as moléculas de ozono, O₃.

Após muitas investigações, foram surgindo as evidências destruidoras dos fluidos CFC sobre a camada de ozono e sobre o efeito de estufa. Nesta base, vários países concordaram com as regras impostas num protocolo destinado à redução dos gases destruidores da camada de ozono (P. Montreal, 1978) e um outro protocolo destinado aos gases que contribuem para o agravamento do efeito de estufa (P. Quioto, 1988).

No gráfico da figura seguinte mostra-se a evolução histórica dos fluidos refrigerantes desde o primeiro éter a ser usado numa máquina a trabalhar com um ciclo, até ao aparecimento do primeiro halogenado, R12 (Alcaraz e outros, 2005).

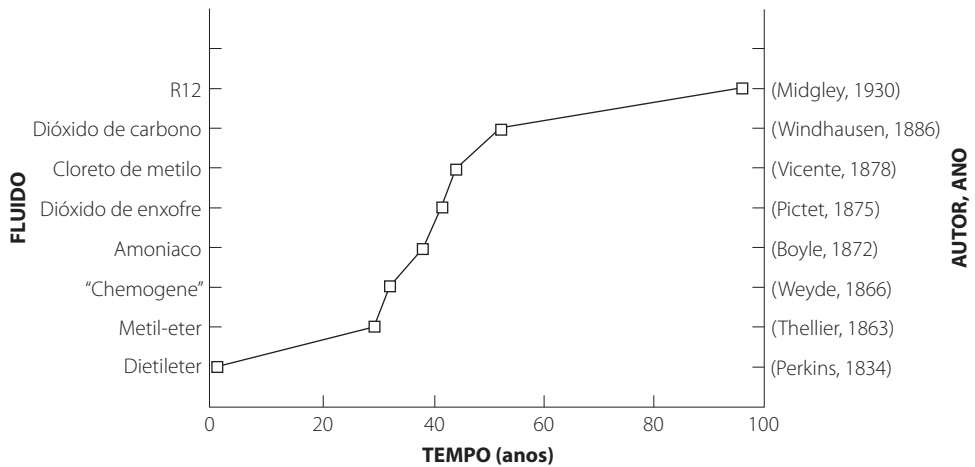


Figura 5.1. Evolução histórica dos fluidos frigoríficos até ao R12

Protocolo de Montreal (camada de ozono): Tem como objetivo reduzir gradualmente as substâncias destruidoras da camada de ozono. Depois de retificado por um grande número de países entrou em vigor em 1 de janeiro de 1989. Posteriormente, foi revisto e foram feitas algumas retificações. Em 1992 e 1995, Copenhaga e Viana respetivamente, as retificações incidiram no aumento do emprego dos HCFC (hidrogénio, cloro, flúor e carbono) para acelerar o final dos CFC, uma vez que estes são os de maior risco para a destruição do ozono. A União Europeia, mediante o regulamento 2037/2000, estabeleceu como fluidos de transição o uso dos HCFC até ao ano de 2015. A partir de 1 janeiro de 2015 ficou proibida a venda e uso de fluidos, novos ou regenerados, que contenham na sua composição química átomos de cloro, traduzindo-se no final da era dos HCFC e logo no muito usado R22, quer em fluido puro como em misturas.

Protocolo de Quioto (efeito de estufa): Este tem como objetivo último conseguir uma redução de 1,8 a 5,4 °C na temperatura global do planeta até 2100, com a implementação de várias medidas onde uma das quais é a redução de gases que contribuem para o agravamento do efeito de estufa. Com negociação em 1988 em Toronto dos seus pontos mais determinantes, entrou em vigor em 2005 com um determinado número de países aderentes, bem como o volume de emissões relativo à totalidade dos países. Assim de 2008 a 2012, os países aderentes assumiram um compromisso de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa de 5.2%, relativamente às emissões observadas em 1990. Como referência para gases com efeito de estufa, foi considerado o dióxido de carbono, CO_2 , que após observações concluiu-se que existe uma relação entre a sua concentração atmosférica e o aumento da temperatura média da Terra. Logo, uma das medidas consideradas é a redução da carga de CO_2 para a atmosfera e de todos os gases que tenham uma contribuição para o agravamento do efeito de estufa pior que o CO_2 . Neste âmbito estão englobados os fluidos refrigerantes que, entre outras, duas das medidas a implementar são:

1. o uso de fluidos halocarbonatos, com hidrogénio, fluor e carbono ou os chamados HFC;
2. o seu manuseamento operacional por parte dos técnicos, com o mínimo de fugas atmosféricas.

Estas medidas abrangem vários domínios técnicos, onde se enquadram a refrigeração e o ar condicionado. Os fluidos HFC controlados pelo protocolo de Quioto não prejudicam em nada a camada do ozono e fazem menos mal ao efeito de estufa que os anteriores CFC e HCFC. No entanto, estes ainda são mais prejudiciais ao efeito de estufa que o dióxido de carbono. Assim, continua o esforço no sentido de retirá-los do mercado, tal como aconteceu com os anteriores CFC e HCFC. Neste sentido, prevê-se um uso dos fluidos HFC até 2025, mas com restrições crescentes. Cinco anos depois, em 2030, as áreas da refrigeração e ar condicionado deverão sofrer uma nova adaptação, alterando as suas instalações para trabalhar com fluidos refrigerantes que tenham um agravamento para a camada de ozono menor ou igual ao dióxido de carbono. Para isto, admite-se a completa substituição dos fluidos anteriores por fluidos naturais, como o antigo amoníaco e o dióxido de carbono ou orgânicos, em especial os hidrocarbonetos (HC) (Silva, F. e outros, 2014).

No gráfico da Figura 5.2 apresenta-se uma evolução histórica dos fluidos refrigerantes depois da entrada do R12 com previsão até 2030, onde em 2000 foi o final da era dos CFC e em 2015 a dos HCFC.

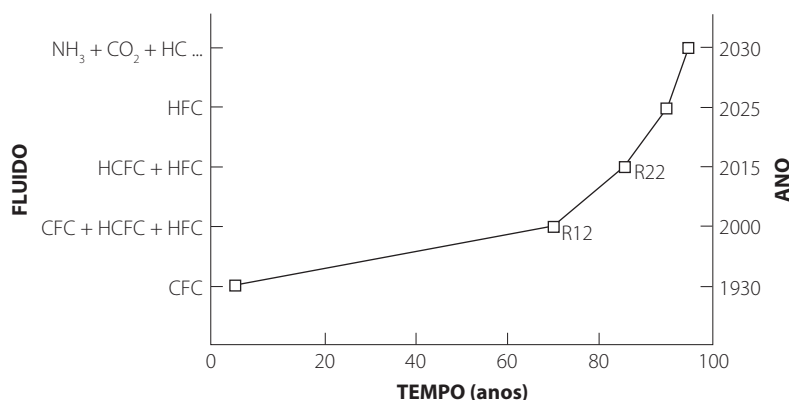


Figura 5.2. Evolução histórica dos fluidos frigoríficos depois do R12

5.3. FLUIDOS REFRIGERANTES

5.3.1. DEFINIÇÕES

Um fluido refrigerante pode ser definido de forma genérica como um agente de produção de frio ou de calor, que atua por troca térmica com o meio ou substância envolvente que se pretende arrefecer. Os fluidos refrigerantes são classificados de acordo com a função que desempenham nos circuitos em fluidos primários e fluidos secundários.

Os fluidos primários são aqueles que circulam internamente nos sistemas de produção de frio ou de calor, ou seja, são as substâncias que circulam através dos vários componentes de uma instalação frigorífica, absorvendo e rejeitando o calor, passando alternadamente de líquido a vapor no evaporador e de vapor a líquido no condensador.

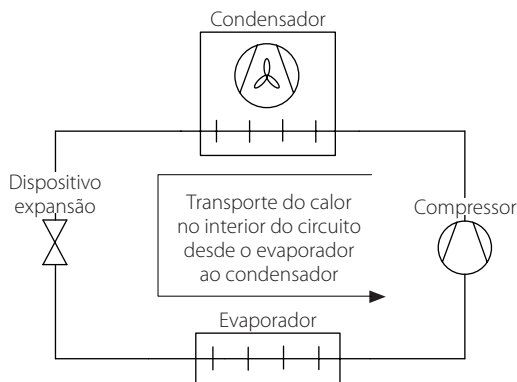


Figura 5.3. Função do fluido refrigerante primário

Como exemplos, refere-se o amoníaco (NH_3) e os fluidos halogenados como o R134a, o R404A, o R22, entre outros.

Os fluidos secundários são agentes arrefecedores intermédios que são usados para transportar o calor entre o meio a arrefecer e o fluido primário. Quer isto dizer que inicialmente o fluido é arrefecido no evaporador por troca de calor com o fluido primário e depois vai absorver o calor do meio ou substância envolvente que se pretende arrefecer.

Exemplos: Água glicolada, salmoura, etc.

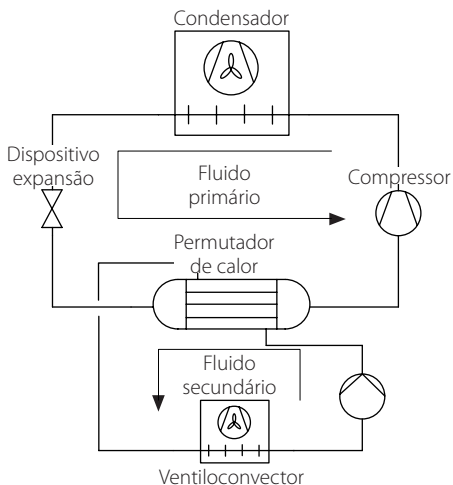


Figura 5.4. Função do fluido refrigerante secundário

5.3.2. TIPOS DE FLUIDOS PRIMÁRIOS

Os fluidos refrigerantes primários, também chamados de fluidos frigorigêneos, dividem-se em categorias de fluidos puros e de misturas.

Os fluidos puros são todos aqueles que são formados por um único componente e têm como característica principal manter a sua temperatura na mudança de fase constante para uma dada pressão. Como exemplos destes fluidos cita-se o R134A, que à pressão atmosférica muda de fase a uma temperatura aproximadamente de $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Isto significa que numa situação de líquido e de vapor saturado, a pressão e a temperatura são mantidas constantes em $P \approx 101,325\text{ kPa}$; $T = -26\text{ }^{\circ}\text{C}$.

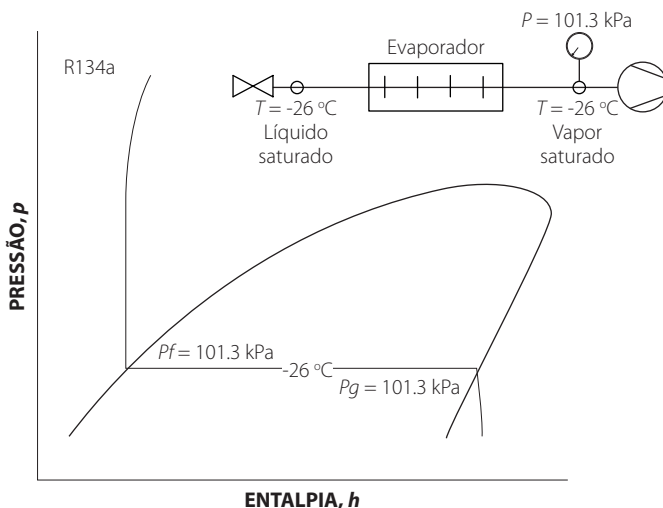


Figura 5.5. Temperatura de mudança de fase para R134a (fluido puro)

As misturas são uma combinação de vários componentes que se juntam para formar um fluido refrigerante com características específicas. São encontradas misturas com comportamentos semelhantes aos fluidos puros, ou seja, que também mantêm a sua temperatura constante durante a mudança de fase, tanto na condensação como na evaporação. Estas misturas chamam-se azeotrópicas e estão associadas à numeração começada por 500. O outro tipo de misturas encontrado até à data tem um comportamento diferente dos fluidos puros, apresentando uma variação na sua temperatura durante o processo de mudança de fase. Estas misturas denominam-se de zeotrópicas e estão associadas a numeração começada por 400. Como exemplos destes fluidos citam-se o antigo 502 formado por 49% de R22 e 51% de R115; o R407C, formado por 23% de R32, 25% de R125 e 52% de R134A.

De uma forma simples, as misturas resumem-se em misturas que não têm deslizamento na sua temperatura da mudança de fase – as azeotrópicas – e as misturas que têm um deslizamento na temperatura de mudança de fase como as zeotrópicas. O deslizamento na temperatura ou chamado de *glide* é a variação que o fluido sofre na sua temperatura entre o estado líquido e o de vapor saturado. Por exemplo, o R407C a $100,8\text{ kPa}$ está em líquido saturado a $-44\text{ }^{\circ}\text{C}$, e se for sujeito à pressão mantida constante aquando do processo de mudança de fase, o fluido terá uma temperatura de $-36,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ quando estiver todo no estado de vapor saturado. Logo, durante esta mudança de fase sofreu uma variação ou deslizamento de $7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-36,8 - (-44)$).



Publindústria, Edições Técnicas
Porto, 2016

REFRIGERAÇÃO

VOLUME 1

Manual de apoio ao ensino e à profissão - Fundamentos

António José da Anunciada Santos



Também disponível
em formato e-book

Sobre o Livro

A refrigeração, normalmente conhecida como a arte de produzir frio artificialmente, é um “vetor” da ciência termodinâmica, que trata do transporte do calor entre meios a temperaturas distintas. Apesar dos processos básicos associados às máquinas de produção de frio não terem sofrido grandes alterações ao longo dos tempos, as questões climáticas e energéticas têm vindo ultimamente a influenciar a indústria da refrigeração. A alteração dos fluidos frigoríficos, destruidores da camada de ozono e com elevado efeito de estufa, bem como a redução energética associada à maquinaria usada nas instalações de frio, são dois aspetos que têm marcado este setor, o que obriga a uma constante atualização técnica. Com aplicações em toda a indústria, a refrigeração tem o seu forte uso no setor alimentar, na congelação e conservação dos alimentos e no ar condicionado, para satisfazer as necessidades de conforto térmico do ser humano. Direcionado para o frio alimentar, este documento estruturado em doze capítulos, segue temas que abrangem os conteúdos programáticos do ensino profissional, universitário e regulamentos comunitários para cursos de gases fluorados destinados a profissionais que manuseiam as instalações frigoríficas.

Sobre o autor

António José da Anunciada Santos

Estudou eletricidade no ensino Secundário, na Escola Dr. Francisco Fernandes Lopes em Olhão, e Eletromecânica de Refrigeração no Centro de Formação Profissional de Faro. Licenciou-se em Eng.^a Mecânica Ramo Térmica na Universidade do Algarve (Ualg, 2002) e obteve o Doutoramento na Universidade de Sevilha no Departamento de Engenharia Energética e Mecânica de Fluidos em 2008. Trabalhou na fabricação e assistência técnica de móveis frigoríficos na empresa Frimovel; e como diretor técnico na área da refrigeração Comercial e Industrial na empresa Qualifrio. Trabalhou em projetos de investigação e desenvolvimento ligados às questões energéticas em edifícios (Hotéis, Edifícios residenciais e Piscinas). Publicação de artigo na ASME International Solar Energy Conference, Irvine. Reconstrução e exposição de uma bancada experimental didática para refrigeração e climatização na feira EducaAngola 2013. Formador desde 1998 nas áreas da Eletricidade, Refrigeração e Ar Condicionado, com serviço prestado no Instituto do Emprego e Formação profissional em Faro (IEFP); no Instituto Médio Politécnico do Sambizanga 1155 Ex.4036 em Angola; no Centro de Formação Profissional para a Indústria Térmica Energia e Ambiente (APIEF), onde atualmente tem ligações profissionais.