

CAPÍTULO II

1. Conceitos Fundamentais e Refrigeração Básica

1.1 Grandezas e unidades

Para o manuseamento de fluidos há alguns conceitos fundamentais que têm que ser muito claros para o técnico, como é o caso de calor, temperatura, pressão, entre outros. Para um correto entendimento destes conceitos é indispensável não só perceber o seu significado e comportamento, mas também um bom domínio das unidades em que se medem e suas conversões e equivalências.

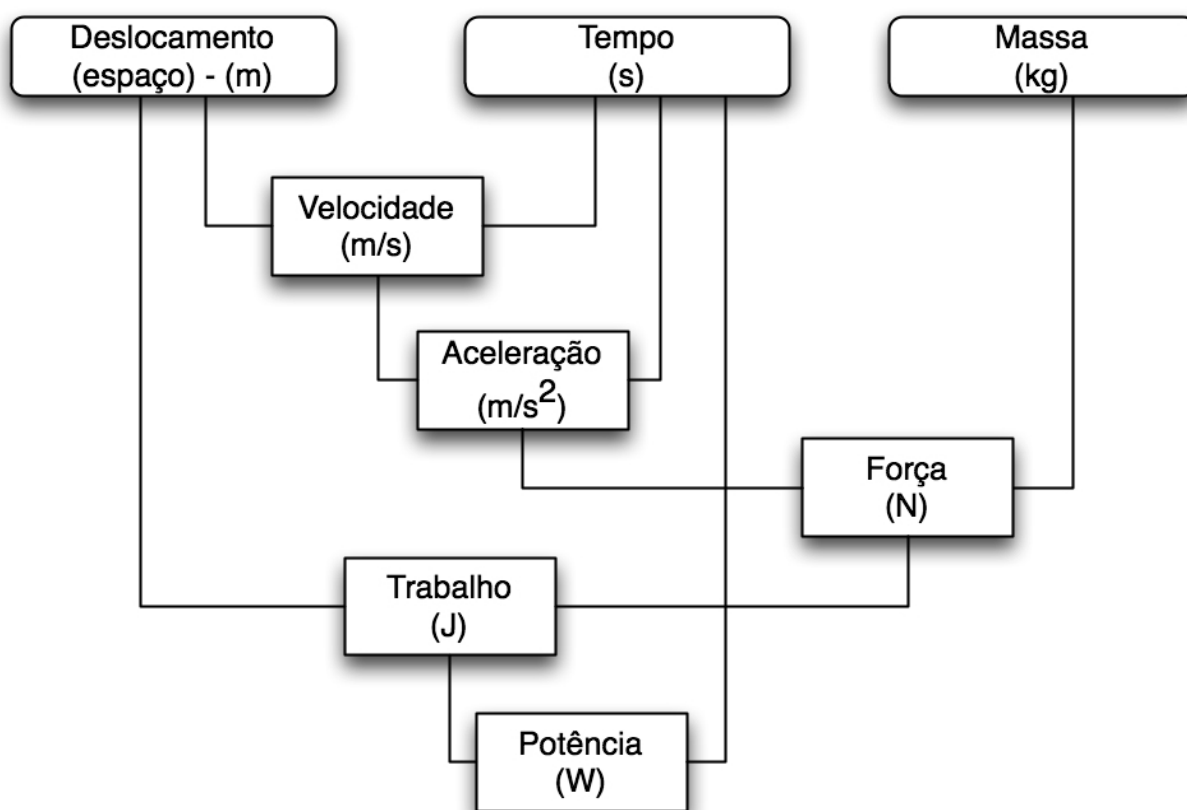


Fig 1- Relação entre várias grandezas e respectivas unidades do Sistema Internacional

1.2. Revisão de noções fundamentais de Termodinâmica

Ainda no plano da contextualização deste curso, e pesem embora as recomendações feitas quanto aos conhecimentos mínimos que esta formação pressupõe à partida, convém relembrar alguns conceitos fundamentais de Termodinâmica, capazes de garantir uma linguagem e entendimento comum dos conhecimentos necessários para os conceitos e procedimentos que serão posteriormente explorados. O que se segue é uma síntese desses conhecimentos.

1.3. COMO FUNCIONA UM FRIGORÍFICO

Retirar calor de dentro de um frigorífico, pode comparar-se com tirar água de uma canoa. Podemos utilizar uma esponja para ensopar a água, sendo esta colocada fora da canoa, espremida e a água transportada para o exterior. A operação pode ser repetida quantas vezes for necessário. Num frigorífico é o calor, em vez de água, que é transferido. Dentro do mecanismo de refrigeração, o calor é absorvido, por evaporação do líquido arrefecedor no evaporador (unidade de arrefecimento). Isto ocorre quando o fluido arrefecedor muda o estado de líquido para vapor (gás), Fig. 2.

Depois do fluido ter absorvido calor passando para gás, é bombeado para dentro da unidade condensadora colocada no exterior do espaço refrigerado.

O condensador funciona ao contrário do evaporador. No evaporador, o líquido entra por um lado e absorve calor ao atravessar o evaporador. Quando chega ao fim do evaporador o líquido transformou-se totalmente em gás.

Quando este vapor passa através do condensador a alta pressão e temperatura, ele devolve o calor ao ar que rodeia o condensador, quando chega ao fim do condensador todo o gás arrefecido se transformou de novo em líquido.

Diz-se que no condensador o calor é espremido. Este ciclo é repetido até que se atinja a temperatura desejada.

O calor entra no frigorífico de muitas formas, através das paredes ou quando abrimos a porta. Ainda mais calor é produzido quando colocamos produtos quentes dentro do frigorífico.

O calor não é destruído para tornar frio o interior do frigorífico, é simplesmente removido do interior para o exterior do frigorífico.

Na apresentação do sistema de arrefecimento da Fig. 2, a tubagem do lado esquerdo é de baixa pressão e a do lado direito de alta pressão, conforme se indica na legenda:

Os seguintes parágrafos providenciarão os conhecimentos técnicos necessários para compreender a operação de remoção do calor. Este conhecimento é importante para manutenção e reparação.

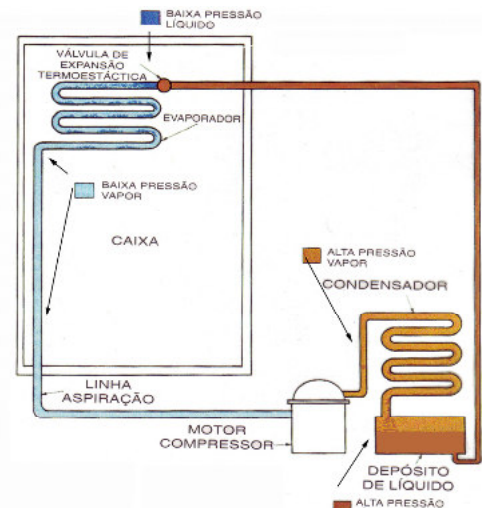


Figura 2

FIG.2 - Frigorífico mecânico elementar. Em operação, o líquido frigorigénico a alta pressão (VERMELHO) flui do depósito através da válvula expansora (controlo do fluido) para dentro do evaporador. Aqui, a pressão reduz-se significativamente (AZUL).

O fluido frigorigénico ferve absorvendo calor no evaporador. Agora, já como vapor, o fluido (AZUL) flui para o compressor e é comprimido a alta pressão (VERMELHO).

Dá-se um grande aumento da temperatura do gás e, no condensador, o calor é transferido para o ar circundante que arrefece o condensador, ou seja, o fluido frigorigénico que se condensa fica líquido de novo, caindo no depósito de líquido. E o ciclo de arrefecimento reinicia-se repetindo todos os passos.

As empresas de ar condicionado e refrigeração pretendem que os seus técnicos de instalação e assistência sejam bons mecânicos. Eles querem também colaboradores que conheçam os princípios da matemática e de física e a sua aplicação na refrigeração.

1.4. CALOR

Calor é uma forma de energia, tem uma relação com o átomo, (a mais pequena parte em que podemos dividir um elemento químico). Todas as substâncias são constituídas por muitos átomos que se combinam para formar as moléculas. Todos os átomos se encontram num estado de movimento rápido permanente.

O calor é uma forma de energia que poderá ser transformado noutras formas de energia mas não pode ser destruído.

Quando a temperatura de uma substância aumenta, os seus átomos movem-se com maior velocidade. Quando a temperatura baixa, eles abrandam. Se todo o calor fosse extraído de uma substância (zero absoluto), o movimento molecular pararia.

A unidade de calor do sistema métrico é o Joule (J). Se uma substância está a aquecer estamos a fornecer-lhe calor, se está a arrefecer estamos a retirar-lhe calor.

A quantidade de calor numa substância é igual à massa dessa substância multiplicada pela sua temperatura. A quantidade de calor de uma substância pode alterar significativamente a sua natureza. Adicionar calor causa em geral a expansão da substância. Retirar calor causa a sua retracção.

Muitas substâncias podem alterar o seu estado físico, ao se retirar ou adicionar calor. Por exemplo, o gelo é um sólido (à pressão atmosférica e a temperatura inferior a 0°C). Adicionando-lhe calor, ele derrete e transforma-se em água (um líquido). Maior fornecimento de calor causará a evaporação da água (vapor). O princípio básico de operação do ciclo de refrigeração por compressão utiliza este princípio na sua aplicação.

1.5. FLUXO DE CALOR

O calor passa sempre de uma substância mais quente para outra mais fria. O que acontece é que os átomos que se movem mais rapidamente cedem parte da sua energia aos que se movem mais lentamente. Então os átomos mais rápidos diminuem um pouco a sua velocidade ou vibração enquanto que os mais lentos a aumentam um pouco.

O calor faz com que alguns sólidos se transformem em líquido ou vapor, e que, os líquidos se transformem em gases. O arrefecimento provocará o processo contrário. Isto acontece porque os átomos que formam as moléculas destas substâncias actuam de uma forma diferente com a temperatura. Em vez de se movimentarem com maior ou menor velocidade, alguns deles mudam as suas posições afastando-se ou aproximando-se uns dos outros.

1.6. FRIO

Frio significa baixa temperatura ou falta de calor. Frio é o resultado de se retirar calor. Um frigorífico produz "frio" por se retirar calor do seu interior.

O frigorífico não destrói o calor, mas **bombeia** o calor do seu interior para o exterior. O calor passa sempre de uma substância de mais alta temperatura para outra de temperatura mais baixa. O calor não se pode transferir espontaneamente de um corpo para outro que esteja mais quente.

1.7. O FRIO CONSERVA OS ALIMENTOS

A putrefacção dos alimentos deve-se ao desenvolvimento das bactérias no seu interior. Se as moléculas se moverem devagar, elas têm um efeito importante no desenvolvimento das bactérias na maior parte dos alimentos. Diminuindo o seu movimento por arrefecimento atrasamos o desenvolvimento dos organismos. O frio ou as baixas temperaturas, atrasam o crescimento ou desenvolvimento das bactérias. Os alimentos não se deterioram tão rapidamente. Se impedirmos o crescimento bacteriano então os alimentos perdurarão em boas condições durante mais tempo.

A maior parte dos alimentos contém uma considerável quantidade de água. Por isso devem ser conservados um pouco acima da temperatura de congelação (0°C).

Se os alimentos forem arrefecidos lentamente até ao ponto de congelação da água, os cristais de gelo formados serão grandes perfurando os seus tecidos. Quando descongelados eles deterioram-se rapidamente e a aparência e sabor ficarão arruinados.

O arrefecimento rápido a muito baixas temperaturas (-18 a -26°C), forma pequenos cristais que não lesam os tecidos dos alimentos. Os Congeladores de alimentos mantêm a temperatura a -18°C ou inferior. Quando estes são colocados no seu interior arrefecem rapidamente.

Guardem na memória a diferença entre arrefecimento e congelação. A temperatura correcta para a conservação de alimentos frescos, depende do tipo de produto, variando entre 1 e 7°C . Para fazer gelo necessitamos de temperaturas inferiores a 0°C .

1.8. TEMPERATURA E MEDIDA DE TEMPERATURA

A temperatura mede a intensidade de calor ou o nível de calor de uma substância. A temperatura por si só não nos indica a quantidade de calor contida pela substância. Ela indica-nos o grau de aquecimento, ou quanto uma substância está quente ou fria.

Na teoria molecular da energia, a temperatura indica-nos a velocidade de movimento ou vibração da molécula, é importante utilizar as palavras "calor" e "temperatura" com cuidado.

A temperatura mede a velocidade de movimento do átomo. O calor é a velocidade de movimento do átomo multiplicado pelo número de átomos (massa) em questão.

Por exemplo, um pequeno disco de cobre pesando algumas gramas, aquecido a 727°C não contém tanto calor como 5 quilos de cobre aquecidos a 140°C. Contudo, o seu nível de calor é superior. A sua intensidade de calor é maior.

A unidade de temperatura do sistema SI é o grau Kelvin (K). os intervalos de temperatura na escalas Kelvin e Celsius são iguais.

A temperatura é medida com um termómetro, usualmente pela expansão uniforme de um líquido num tubo de vidro selado

O vidro não expande ou contrai tanto como o líquido durante a variação de temperatura. O líquido sobe ou desce dentro do tubo de acordo com a variação da temperatura. O tubo é calibrado ou marcado em graus usando a escala escolhida. A Fig. 3 mostra um termómetro de haste de vidro utilizado em trabalhos de refrigeração e ar condicionado. líquido num tubo de vidro selado. Tem um bolbo numa das extremidades e uma quantidade de líquido (mercúrio ou álcool) no seu interior.

Alguns termómetros utilizam um metal para medir a temperatura. O metal expande ou contrai-se conforme a temperatura sobe ou desce. Tal fará mover um indicador numa escala graduada.



Figura 3

Também foram desenvolvidos termómetros que indicam a temperatura pela medição de uma pequena corrente eléctrica gerada num termopar. Estes instrumentos chamam-se pirómetros. Eles são utilizados especialmente para medir temperaturas muito altas.

Um radiómetro é um termómetro que detecta os raios infravermelhos emitidos pela substância. Este termómetro é muito fácil de usar, não sendo necessário contacto com a substância cuja temperatura se pretende medir.

1.9. ESCALAS DE TERMÓMETROS, FAHRENHEIT E CELSIUS

As duas escalas termométricas mais comuns são a Fahrenheit e a Celsius, também chamada a escala centígrada. A escala centígrada é denominada em honra de Anders Celsius, o astrónomo Sueco que aconselhou o novo sistema.

Duas temperaturas determinam a calibração de um termómetro:

1. A temperatura de formação do gelo.
 2. A temperatura de ebulição da água.
- (Ambas à pressão de 1 atmosfera ou nível do mar.)

No termómetro fahrenheit, a temperatura de fusão do gelo ou de congelação da água é de 32°F. A temperatura de ebulição da água é de 212°F. A escala é dividida em 180 espaços entre estas duas temperaturas.

No termómetro Celsius, a temperatura de fusão do gelo, ou de congelação da água é de 0°C. A temperatura de ebulição da água é de 100°C. A escala é dividida em 100 espaços entre estas duas temperaturas.

Para uma comparação entre estas duas escalas ver a Fig.4

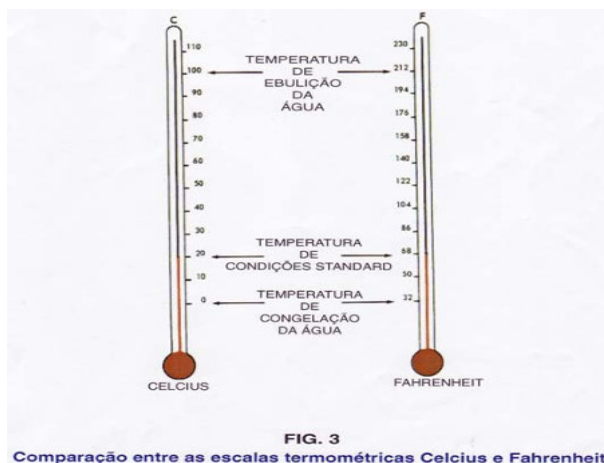


FIG. 3
Comparação entre as escalas termométricas Celcius e Fahrenheit.

Figura 4

Os pontos de congelação e ebulição estão baseados nos pontos de congelação e ebulição da água à pressão atmosférica. Os efeitos da pressão nestas temperaturas serão explicados nos mais adiante.

1.10. FÓRMULAS DE CONVERSÃO DE TEMPERATURAS

Por vezes é necessário converter as temperaturas de uma escala para outra, para isso desenvolveram-se algumas fórmulas.

1. Para converter °C em °F:

Fórmula:

$$^{\circ}\text{F} = (180/100 \times ^{\circ}\text{C}) + 32 \text{ ou } = (9/5 \times ^{\circ}\text{C}) + 32$$

Exemplo: Converter 75°C em Fahrenheit.

$$^{\circ}\text{F} = (9/5 \times 75) + 32 = (135) + 32 = 167^{\circ}\text{F}$$

2. Para converter °F em °C:

Fórmula:

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 \times (^{\circ}\text{F} - 32)$$

Exemplo: Converter 212° F em Centígrados:

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 \times (212 - 32) = 5/9 \times (180) = 100^{\circ}\text{C}$$

1.11. OS TRÊS ESTADOS FÍSICOS DA MATÉRIA

As substâncias existem em três estados, dependendo da sua temperatura, pressão e conteúdo de calor. Por exemplo, a água à pressão atmosférica está no estado sólido a temperaturas abaixo de 0°C, líquido entre 0°C e 100°C, e acima dessa temperatura é um vapor (gás).

Na Fig.5 mostra a água nos três estados. Neste exemplo, o estado físico é controlado pelos dois factores, temperatura e pressão.

Estas temperaturas só são válidas quando a pressão atmosférica é de 1 kg/cm², ou 1 bar, ou 100kPa.

1.12. SÓLIDOS

Um sólido é qualquer substância física que mantém a sua forma, independentemente do vaso que o contém. É constituído por biliões de moléculas, todas exactamente da mesma dimensão, massa e forma. Elas mantêm a mesma posição relativa entre elas. Ainda assim elas estão numa condição de rápido movimento ou vibração. **O valor dessa vibração depende da temperatura.** Quanto mais baixa for a temperatura menor é a vibração das moléculas.

As moléculas possuem uma força de atracção muito forte entre elas, sendo necessária uma força considerável para as separar.

Um sólido tem sempre de ser suportado por uma força de baixo para cima senão ele cairá. Ver a imagem “A” da Fig.5.

1.13. LÍQUIDOS

Um líquido é uma substância física que livremente toma a forma do recipiente que o contém (imagem “B”, Fig.5), assim as suas moléculas atraem-se fortemente umas às outras.

Pensem na molécula nadando no meio de todas as outras sem nunca se afastar delas. Quanto mais alta for a temperatura, maior é a rapidez com que nadam. As moléculas mais quentes movimentam-se para cima para a superfície do líquido. Tal deve-se ao facto de aí terem mais espaço para o seu rápido movimento. Elas tornam-se mais leves que as moléculas mais frias.

1.14. GASES

Um gás é uma substância física que tem de estar contido num recipiente fechado para que não escape para a atmosfera.

As moléculas, já pouco ou nada se atraem umas às outras, elas movimentam-se (voam) em linha recta. Elas vão de encontro a moléculas de outras substâncias ou contra as paredes do recipiente. Elas têm pouca ou nenhuma atracção por outra qualquer substância. As pressões no balão cheio de gás ilustradas na vista C da Fig.5 mostram o comportamento dos gases.

Qualquer substância pode existir como sólido, líquido ou gás. Cada molécula pode vibrar, "nadar" ou "voar", dependendo de duas coisas: temperatura e pressão. Para melhor entender as mudanças de estado teremos de estudar o inter-relacionamento entre estas duas grandezas.

1.15. PESO E MASSA

A quantidade de uma substância é normalmente relacionada com o seu peso. Alimentos e metais, por exemplo, são vendidos na base do seu peso. A unidade de peso do SI é o Newton (N). Este peso é muitas vezes expresso como uma força que o objecto exerce numa escala.

A força da gravidade que a Terra exerce sobre um objecto é expressa como o seu peso.

Esta força atractiva (gravidade) acelera um objecto se este se largar de uma certa altura. A mesma quantidade de matéria acelerará a valores diferentes conforme a altura a que esteja, isto é, a sua distância à Terra. Para esclarecer que é a mesma quantidade de matéria, independentemente da força de atracção seja maior ou menor, **define-se essa quantidade de matéria como a sua massa.**

Isto é, a massa da matéria é sempre a mesma, não variando com outras grandezas, enquanto que o seu peso varia com a força de atracção considerada.

No Sistema Internacional a massa é medida em kilogramas (kg), e a unidade de força é denominada Newton (N). O Newton representa a força exercida por um objecto que tem um kilograma de massa, onde a aceleração da gravidade fosse de 1m/s^2 . Uma massa de 1 kilo na superfície da Terra exerce a força de 9,8 Newtons porque a aceleração da gravidade é de $9,8\text{m/s}^2$.

1.15.1. DENSIDADE

Densidade de um corpo é definida pela sua massa por unidade de volume.

Um kilo de algodão tem maior volume que um kilo de ferro, ou seja, a massa por cada m^3 (unidade de volume) é maior para o ferro que para o algodão, então o ferro será mais denso que o algodão.

Atenção que nos sólidos, líquidos e, principalmente, nos gases, a densidade varia significativamente com a temperatura de forma inversa.

A densidade é expressa em **kilogramas por metro cúbico (kg/m³)**.

Exemplo:

Um dm³ de ferro tem a massa de 7,8 Kg qual é a densidade do ferro?

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$$

Então a densidade do ferro será : $\rho = 1000 \times 7,8 = 7800 \text{ Kg/m}^3$

1.15.2. DENSIDADE RELATIVA

Densidade relativa é a relação da massa de um certo volume de um líquido, sólido ou gás, e a massa de igual volume de outra substância tomada como padrão.

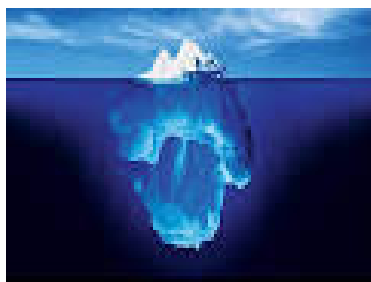
Quando se insere uma substância no seio de outra substância, ela tenderá a subir se for menos densa e a descer se for mais densa.

A densidade relativa é uma relação entre a mesma grandeza de duas substâncias, logo, não tem unidades, ou seja, é adimensional

Para os sólidos e líquidos toma-se, em geral, como padrão a densidade da água (igual a 1).

Os objectos que flutuam na água têm uma densidade relativa inferior a um, os que se afundam têm uma densidade relativa superior a 1.

A densidade relativa de um gás é definida como a relação entre a massa de um certo volume desse gás comparada com a massa de igual volume do corpo padrão (usualmente o ar). As leituras são feitas a 20°C e 1 atmosfera de pressão.



Exemplo:

A densidade do ferro é de 7800 Kg/m³, qual é a sua densidade relativa (em relação à água)?

$$\rho_{\text{ferro}} = \frac{7800 \text{ Kg/m}^3}{1000 \text{ Kg/m}^3} = 7,8$$
$$\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

1.16. PRESSÃO

Pressão é a força por unidade de área, e expressa-se em kilos por centímetro quadrado, bares, pascal ou mm de Hg. A pressão atmosférica normal ao nível do mar é de 101,3 kPascal (14,7 libras por polegada quadrada, psi), Na prática em geral utiliza-se o valor de 100 kPascal (15 psi).

O funcionamento de um sistema de refrigeração depende principalmente das diferenças de pressão do fluido no sistema. As substâncias empurram ou exercem força sobre as superfícies que as contêm.

Um bloco de gelo (sólido) exerce pressão sobre a superfície que o suporta. Se essa superfície desaparecer o bloco cairá para outro nível de superfície de suporte.

Um líquido exerce pressão sobre as paredes e fundo do recipiente que o contém. Um gás exerce pressão em todas as paredes do recipiente que o contém. Fig. 5 ilustra estes tipos de pressão.

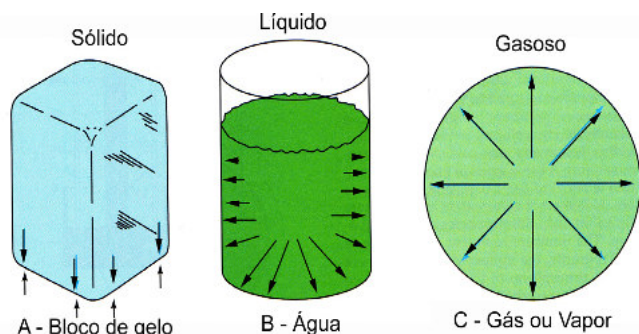


Figura 5

Usando o sistema SI, um sólido com o peso de 1 kg, com uma superfície de assentamento de 1 cm², exercerá uma pressão de 1 kg/cm² sobre uma superfície lisa.

Um líquido num recipiente exerce uma pressão crescente, da superfície para o fundo) nas paredes e fundo desse recipiente. A pressão do gás num recipiente dependerá da quantidade de gás e da sua temperatura.

1.17. LEI DE PASCAL

Em honra a Pascal o sistema métrico SI usa o termo "Pascal" como unidade de pressão.

O Pascal é um newton por metro quadrado N/m². O Newton é a unidade de força do sistema métrico, um Newton é igual à massa de 1 kg acelerado à taxa de 1 metro por segundo por segundo.

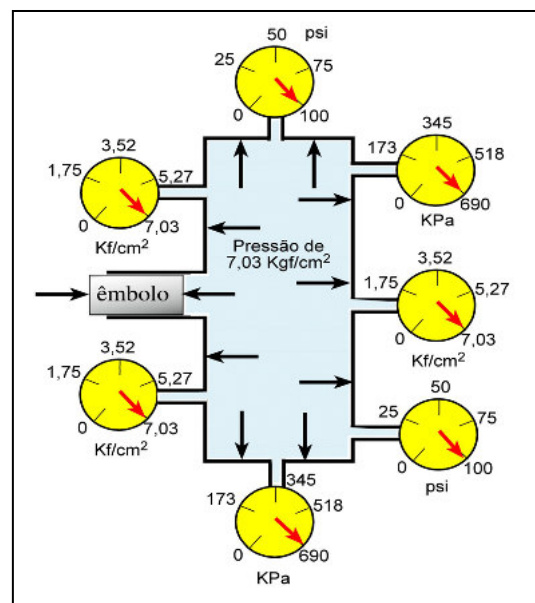


Figura 6

A lei de Pascal estabelece que: **A pressão aplicada a um fluido confinado é transmitida igualmente em todas as direcções.** Esta é a base de funcionamento de todos os sistemas hidráulicos ou pneumáticos.

A Fig 6 ilustra a lei de Pascal. Mostra-nos um cilindro cheio de fluido. Um êmbolo com uma área de 10 cm², é montado num pequeno cilindro que está ligado ao cilindro maior. Uma força de 70,3 Kg é aplicada ao êmbolo do cilindro pequeno. Os manómetros mostram a pressão que é transmitida igualmente em todas as direcções.

Os valores de pressão (relativa ou manométrica) nos diversos manómetros são todos equivalentes.

1.18. PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Como o nome indica, a pressão atmosférica é a força exercida pela camada de ar da atmosfera, sobre os corpos assentes na Terra. Como a Terra não é uma esfera lisa, **então essa pressão no cimo de uma montanha é menor do que numa praia junto ao mar.**

Na necessidade de encontrar um valor padrão, optou-se pela pressão atmosférica existente ao nível do mar, como referencial para todo o mundo.

Esse valor no sistema métrico é de 101,3 kPa. Também, se utilizam outras unidades equivalentes como: kilo por centímetro quadrado, atmosfera, bar, centímetros ou milímetros de coluna de mercúrio, ou de água, ou no sistema US a libra por polegada quadrada e as polegadas de coluna de mercúrio, entre outras.

Em geral utilizam-se valores arredondados para a pressão atmosférica **quando os pretendemos utilizar na prática** como se segue:

Equivalências:

(101,3) ~100kPa <> 1 kg/cm² <> 1 atm. <> 1 bar <> 76 cm Hg <> 10 m c.a. <>

O Técnico de refrigeração, lida com pressões acima e abaixo da pressão atmosférica.

No sistema métrico normalmente, as pressões acima da atmosférica medem-se **em kilopascal (kPa) ou kilos por centímetro quadrado ou bares.** As pressões abaixo da atmosférica medem-se em centímetros de coluna de mercúrio (cm Hg), ou bares de vácuo (abaixo da pressão atmosférica). **O zero absoluto de pressão será então 1 bar de vácuo ou 0 kPa.**

1.19. PRESSÕES MANOMÉTRICA (OU RELATIVA) E ABSOLUTA

Os aparelhos mais vulgares utilizados para medir pressões acima da atmosférica chamam-se "**manómetros**", calibrados em bar, kg/cm² ou KPa.

A leitura de 0 bar, no manómetro, corresponde à pressão atmosférica.

A pressão absoluta igual a zero, é aquela que não pode ser mais reduzida. **O vácuo perfeito é de 1 bar abaixo da pressão atmosférica ou 0 kPa (kilopascal).**

Para medir pressões abaixo da atmosférica, utilizam-se em geral outras unidades, por exemplo: Milímetros de coluna de mercúrio (mm Hg) ou milímetros de coluna de água (mm c.a.). Para medir pressões abaixo da atmosférica podemos também utilizar manómetros de mercúrio, denominados Barómetros.

O barómetro da Fig.7, é um manómetro de mercúrio. Com um vazio no cimo do tubo fechado, a pressão atmosférica suporta uma coluna de mercúrio com 76 cm de Hg (29,92 in. Hg) em peso, ao nível do mar e em condições Standard.

É frequente ser necessário converter cm Hg em bar ou kg/cm^2 , existem fórmulas apropriadas para fazer essas conversões.

Coluna de água, é normalmente utilizada para medir pequenas pressões abaixo ou acima da pressão atmosférica. Por exemplo podem ser usadas para medir a pressão de ar no interior das condutas, linhas de gás etc. **10 metros de coluna de água equivalem aproximadamente a 1 bar ou $1 \text{ kg}/\text{cm}^2$.**

Os aparelhos para medir estas pressões chamam-se manómetros. São calibrados em milímetros de coluna de água, e em mm Hg.

Por vezes em máquinas de refrigeração de alta pressão os manómetros são calibrados em atmosferas. Uma atmosfera corresponde a cerca de 1 bar.

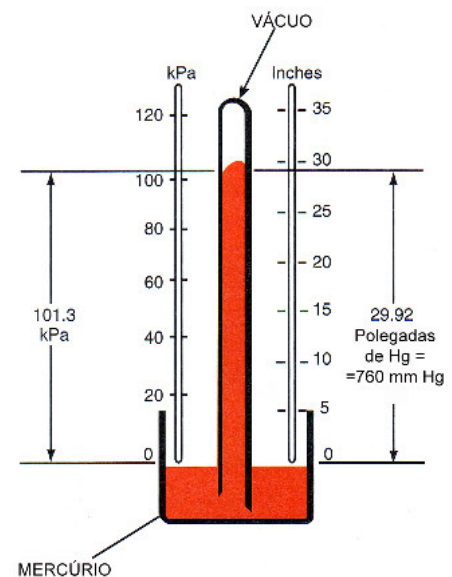


Figura 7

Uso do sistema SI

No Sistema Internacional, a pressão atmosférica é expressa em **Pa (Pascal)**.

A pressão atmosférica normal tem o valor de 101,3 kPa. **Para problemas práticos utiliza-se em geral 100 kPa ou o equivalente em bar ou kg/cm^2 .**

Pressões abaixo da atmosférica denominam-se vácuo parcial. Zero na escala absoluta de pressões, é a pressão que não pode ser mais reduzida.

Um vácuo perfeito, corresponde a 0 kPa, 0 cm Hg , 0 Bar etc.

Se falamos em pressões relativas, então teremos: -100 Kpa, -1 Bar ou 1 Bar de vácuo.

1.20. FORÇA

Uma força aplicada a, um corpo tenderá a fazê-lo movimentar. A unidade de força é o newton (N). O newton é a força que quando aplicada á massa de 1 kg, lhe dá uma aceleração de um metro por segundo em cada segundo. A força também se pode denominar pressão acumulada.

Um Newton é igual a 1 kg vezes 1 metro dividido por um segundo ao quadrado:

$$1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 \text{ ou } 1 \text{ kg m/s}^2 = 1 \text{ N}$$

Exemplo: Determine a força na cabeça de um êmbolo de 645 mm² de área e debaixo de uma pressão de 0,172 MPa. Use a fórmula seguinte:

$$F = A \times P$$

onde:

F = Força

A = Área da cabeça do êmbolo

P = Pressão

$$645 \text{ mm}^2 = 0,000645 \text{ m}^2$$

$$0,172 \text{ MPa} = 172000 \text{ Pa}$$

Solução:

$$F = 0,000645 \times 172000$$

$$F = 111 \text{ N (newton)}$$

Pascal é a unidade de pressão. Newton é a força total, igual à pressão vezes a área.

1.21. TRABALHO E ENERGIA

Trabalho (W) é uma força (F), multiplicada pela distância percorrida pelo seu ponto de aplicação.

A unidade de trabalho chama-se “joule”, no sistema SI. O joule é a quantidade de trabalho produzida por uma força de um newton que move o seu ponto de aplicação de um metro.

Exemplo: A hélice de um navio empurra um barco dentro de água com uma força de 200 newton. O barco navega uma distância de 10 km, que quantidade de trabalho foi executado?

Solução:

$$10 \text{ km} = 10\,000 \text{ metros}$$

$$W (\text{trabalho}) = F \times D = 200 \times 10\,000 = 2 \times 10^2 \times 1 \times 10^4$$

$$W = 2 \times 10^6 \text{ N.m} = 2 \text{ MJ}$$

Energia é a capacidade ou possibilidade de executar trabalho.

O motor eléctrico fornece a energia para fazer funcionar o compressor de refrigeração.

Há diversas formas de energia; Por exemplo:

1. Energia potencial é um armazenamento de energia. São exemplos: água retida numa comporta, energia eléctrica armazenada numa bateria, ou uma massa que pode cair por gravidade.
2. Energia cinética é a energia que executa trabalho. São exemplos: a água saindo da comporta, uma bateria acendendo uma lâmpada, ou uma massa a cair.
3. Energia calorífica

A equação do trabalho expressa-se: $W = F \times D$ em que as unidades serão:

newton x metros

$$1 \text{ J.} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ Nm}$$

1. 22. POTÊNCIA

A potência é o trabalho executado na unidade de tempo.

Nas unidades SI, a potência expressa-se em Watt. O watt, é a aplicação duma força de um newton cujo seu ponto de aplicação se desloca um metro num segundo.

A unidade comum de potência mecânica é o kilowatt (kW). Um kilowatt é igual a 1000 watt. A fórmula para a potência é, a força vezes a distância a dividir pelo tempo.

É expressa em watt (W) = $1 \text{ J/s} = 1 \text{ joule por segundo}$.

Exemplo: Qual a potência requerida para deslocar uma massa de 100 kg à razão de 10 metros por segundo?

Solução:

$$\text{Potência} = \frac{\text{Força} \times \text{Distância}}{\text{Tempo}} = \frac{\text{newton} \times \text{metros}}{\text{Segundos}}$$

Força = $100 \times 9,8$ newton

Distância = 10 metros

Tempo = 1 segundo

$$\text{Potência} = \frac{100 \times 9,8 \times 10}{1} = 9\,800 \text{ W} = 9,8 \text{ kW}$$

1

Equivalências:

1 hp (horse power) = 746 W

1 W = 0,0013 hp

1. 23. UNIDADE DE CALOR

No SI, a unidade de calor é o joule (J). O joule é uma unidade muito pequena de calor. Na refrigeração usa-se o kJ (kilojoule) que é igual a 1000 joule. A quantidade de calor requerido para elevar de 1°C 1 kg de água, é de 4,187 kJ (ver fig. 9). Inversamente, a quantidade de calor que é necessário retirar a 1kg de água para que esta baixe a sua temperatura de 1°C é 4,187 kJ (**1 Kcal**).

A massa em kilogramas, multiplicada pela diferença de temperaturas em graus Celsius vezes 4,187 kJ indica-nos a quantidade de calor fornecido ou retirado.

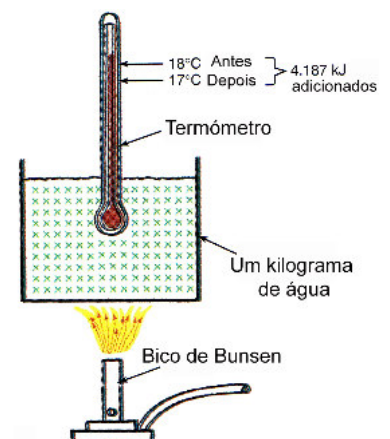


Figura 8

Exemplo: Diga qual a quantidade de calor necessário para aumentar a temperatura de 1 kg (cerca de um litro) de água de 4° para 27°C :

$$Q = 4,187 \times \text{massa em kg} \times \text{diferença de temperaturas em } ^\circ\text{C} =$$

$$= 4,187 \times 1 \times (27 - 4) = 4,187 \times 1 \times 23 = 96,301 \text{ kJ}$$

Equivalências:

1 kJ = 239 cal. = 0.948 Btu

1 cal. = 0.004 kJ = 0.004 Btu

1 Btu = 1,055 kJ = 252 cal. = 0.252 kcal.

1.24 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

O calor pode ser transmitido de um corpo para outro de três formas: por radiação, por condução e por convecção. Podendo coexistir a combinação entre estas três formas.

1.24.1 RADIAÇÃO

Radiação é a transferência de calor que se dá sem contacto entre os dois corpos, e sem um terceiro meio que sirva de transportador do calor. A radiação é uma transferência de calor que se dá por raios de calor. A Terra recebe calor do Sol por radiação

Os raios solares geram maior aquecimento quando encontram objectos de cor escura do que quando estes são de cor clara ou de superfícies polidas.

Qualquer superfície aquecida perde calor por radiação para o espaço ou corpos que a rodeiam e que estejam mais frios que ela.

Uma superfície fria absorverá calor irradiado pela fonte quente. Alguns sistemas de aquecimento de espaços, utilizam fontes quentes radiantes localizadas nos tectos, paredes ou chão desse espaço.

1.24.2 CONDUÇÃO

Condução é o fluxo de calor entre partes de uma substância por vibração molecular. O fluxo de calor pode também verificar-se entre duas substâncias em contacto directo, são sempre as mesmas moléculas que permanecem em contacto.

Um pedaço de ferro aquecido numa extremidade, em breve ficará quente de uma à outra. Este é um exemplo de transferência de calor por condução. O calor viaja através do ferro, utilizando o próprio metal como meio condutor.

1.24.3 CONVECÇÃO



Convecção é a transferência de calor de um corpo para outro, utilizando um fluido cujas moléculas em contacto com a fonte de calor mudam a cada instante.

Por exemplo: ar aquecido num radiador vertical, vai subindo à medida que é aquecido e outras moléculas de ar frio passam a estar em contato com a superfície do radiador

1.25. CALOR SENSÍVEL

O calor que causa uma mudança de temperatura de uma substância denomina-se calor sensível.

Se uma substância é aquecida (recebe calor), e a temperatura eleva-se à medida que lhe fornecemos calor, o aumento, desse calor é chamado de calor sensível. Também podemos retirar calor a uma substância. **Se a temperatura descer, o calor retirado é da mesma forma calor sensível.**

1.26. CALOR LATENTE

Ao calor fornecido ou retirado a uma substância que provoque a sua mudança de estado sem alterar a temperatura é chamado calor latente.

Todas as substâncias puras podem mudar o seu estado físico. Os sólidos tornam-se líquidos, e os líquidos tornam-se gases (ou vice versa). **As mudanças de estado ocorrem sempre para uma mesma combinação temperatura/pressão para cada substância**, é necessário fornecer ou retirar calor para que se produza a mudança de estado.

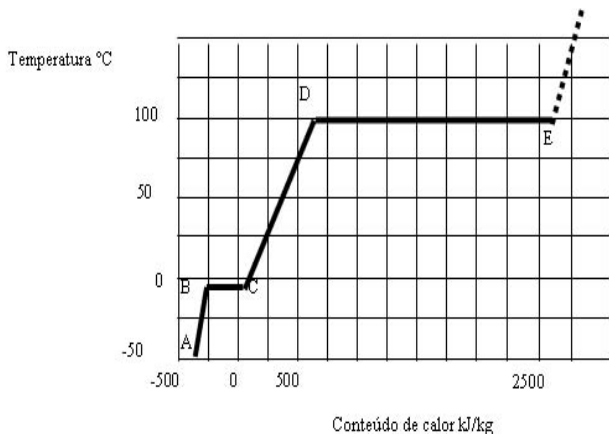


Figura 9

Na Fig. 11, vê-se que uma quantidade considerável de calor (335 kJ/kg) foi

fornecido entre os pontos B e C. **Apesar disso a temperatura não se alterou.** Este calor foi necessário para transformar o gelo em água. Este calor é chamado "**calor latente de fusão**" durante a operação de aquecimento, ou "**calor latente de solidificação**", durante a operação de arrefecimento.

Do mesmo modo, entre os pontos D e E, 2257 kJ/kg foram fornecidos à substância, e **a temperatura não aumentou.** Este calor foi necessário para transformar a água em vapor. Este calor é chamado "**calor latente de vaporização**", quando arrefecemos de vapor para água chama-se "**calor latente de condensação**".

Existem dois calores latentes para cada substância, um de sólido para líquido (fusão) e inversamente, de líquido para sólido (solidificação ou congelação); e outro de líquido para gás (evaporação ou vaporização) e, inversamente, de gás ou vapor para líquido (condensação). A Fig.10 mostra os calores latentes da água e de alguns fluidos frigorigéneos mais comuns

FLUIDO	CALOR LATENTE DE CONGELAÇÃO OU DE FUSÃO kJ/kg	CALOR LATENTE DE VAPORIZAÇÃO OU DE CONDENSAÇÃO kJ/kg
Água	335 a 0°C	2257 a 100°C
R 717 (amoníaco)	–	1313 a –15°C
R 290 (propano)	–	164 a –15°C
R 22	–	217 a –15°C
R 134a	–	207 a –15°C
R 404A	–	178 a –15°C

Figura 10

A adição de calor a um sólido aumenta a vibração das suas moléculas até que elas se separam no ponto de mudança de estado. No estado, líquido as moléculas têm uma atracção muito fraca por outras moléculas e têm um movimento livre à volta umas das outras. Na transição de sólido para líquido algumas moléculas ainda estão ligadas como um sólido, enquanto outras têm uma fraca atracção já no estado líquido. Quando as ligações do sólido estão quebradas, um maior aquecimento do líquido provoca um novo aumento de movimento das moléculas.

É necessário o mesmo calor para transformar 1 kg de gelo em água, como para aumentar a temperatura do mesmo kg de água de 0° a 80°C.

Todas as operações básicas do ciclo de compressão dos fluidos refrigerantes estão baseadas nestes dois calores: **SENSÍVEL e LATENTE**.

Equivalências:

1 kJ/kg	= 0,4299 Btu/lb.
1 kJ/kg	= 0,2388 kcal/kg
1 kcal/kg	= 4,187 kJ/kg
1 kJ/kg	= 0,2388 cal/g
1 cal/g	= 4,187 kJ/kg

1.27. APLICAÇÕES DO CALOR LATENTE

Nos trabalhos de refrigeração, o aspecto do “calor latente” é especialmente importante. A sua aplicação dá-nos o frio ou a temperatura de arrefecimento desejada.

Na mudança de estado do gelo, a sua temperatura permanece constante. Contudo ele absorve uma grande quantidade de calor ao mudar de gelo para água. Para derreter 1kg de gelo, são necessários 335 kJ.

Quando uma substância muda de líquido a vapor, como acontece num frigorífico mecânico, a sua capacidade de absorver calor é muito grande. Este fenómeno é muito importante no funcionamento do frigorífico.

A temperatura a que uma substância muda de estado depende da pressão. Quanto maior for a pressão, maior será a temperatura necessária à mudança de estado. Ao contrário se a pressão for mais baixa, a temperatura a que terá lugar a mudança será também mais baixa. Este princípio encontra-se representado na Fig.11

Para cada pressão de saturação de cada fluido (na sua mudança de estado), corresponde sempre uma, e só uma, temperatura de saturação, e viceversa.

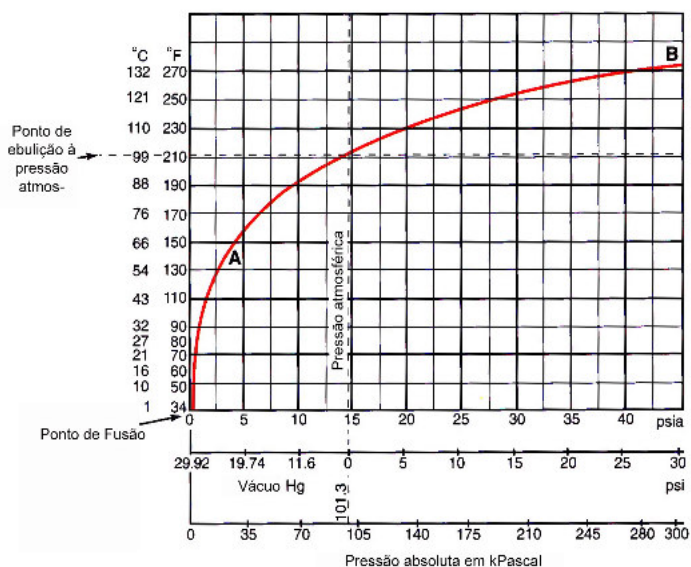


Figura 11

Um líquido a uma baixa pressão ferverá a uma temperatura mais baixa. Se o vapor resultante deste fenómeno for comprimido, ele condensar-se-á a uma maior temperatura correspondente a uma maior pressão.

Quando o fluido entra no evaporador a uma pressão mais baixa correspondente a uma temperatura de saturação também mais baixa, ele não pode permanecer no estado líquido, evaporando-se até atingir a temperatura de saturação, absorvendo calor do próprio líquido e da envolvente exterior do evaporador, (calor latente de evaporação).

Uma parte do líquido injetado evapora-se instantaneamente à entrada do evaporador para baixar a sua própria temperatura, fenómeno conhecido como Flash Gás, quanto maior for este fenómeno menor é o efeito frigorífico do evaporador.

Cada substância tem um calor latente diferente porque cada uma delas tem uma estrutura molecular também diferente. Mais tarde abordar-se-á este assunto com maior detalhe. Num moderno frigorífico, congelador ou ar condicionado, o líquido frigorígeno é bombeado sob

pressão para o evaporador. **No evaporador a pressão é grandemente reduzida.** Então o refrigerante vaporiza (ferve), absorvendo calor do evaporador. Isto produz uma baixa temperatura e arrefece o evaporador.

O compressor aspira este gás, sob a forma de vapor, do evaporador e comprime o mesmo a alta pressão para dentro do condensador. Aqui, o calor que tinha sido absorvido no evaporador é cedido para o meio ambiente e o vapor ao perder calor condensa-se tornando a ficar no estado líquido e o ciclo repete-se de novo.

1.28. O EFEITO DA PRESSÃO NA TEMPERATURA DE EVAPORAÇÃO

A temperatura de vaporização para qualquer líquido depende da pressão que está a actuar sobre ele. A água à pressão atmosférica (100 kPa) ferve a 100°C. Se a pressão subir para 311 kPa (3,11 bar), a temperatura de evaporação sobe para 133°C. Se a pressão descer para 48 kPa (0,48 Bar de vácuo, ou 36,5 cm de Hg de vácuo) a temperatura de evaporação desce para 80°C como se mostra na Fig. 11.

Os fluidos dos sistemas frigoríficos, quer mecânicos, quer de absorção, utilizam o efeito de reduzir-se a pressão para se obterem temperaturas de evaporação mais baixas. Consideremos, por exemplo, o R 134a que entra em ebulição (ferve) à pressão atmosférica (100 kPa ou 1 bar) a – 27°C. Se a pressão baixar dos 100 para 62 kPa a temperatura de evaporação passará a ser de – 37°C. E do mesmo modo, um equipamento frigorífico com R 134a poderá arrefecer até – 41°C se a pressão no evaporador baixar para 50 kPa. Mas, se a pressão no evaporador for a atmosférica 100 kPa, a temperatura mínima que é possível obter é de – 27°C. A Figura 12 mostra o efeito da pressão sobre a temperatura de evaporação de três substâncias usualmente utilizadas em sistemas de refrigeração ou congelação.

Substância	Temperatura de evaporação em °C		
	À pressão de 60 kPa	À pressão atmosférica (100 kPa)	À pressão de 200 kPa
Água	+ 89	+ 100	+ 122
R 134a	– 37	– 27	– 10
R 717 (amoníaco)	– 43	– 33	– 19

Figura 12

1.29. TEMPERATURA AMBIENTE

Exemplo: Se a temperatura de uma sala é de 22° C, e a diferença de temperatura considerada para o motor é de 40° C, a temperatura do motor não deve ser superior a 62° C (22 + 40).

Normalmente a temperatura ambiente não é constante. Ela pode variar dia a dia ou hora a hora, dependendo da utilização do espaço, do calor do sol, e muitos outros factores.

1.30. FLUIDO FRIGORIGÉNIO, FRIGORÍFICO OU REFRIGERANTE

Nos sistemas de refrigeração, os fluidos que absorvem o calor no interior do espaço a refrigerar, e o transportam para o exterior denominam-se fluidos frigorigénios conhecidos na prática como refrigerantes.

Estes fluidos no estado líquido, a uma baixa pressão, absorvem o calor no evaporador, utilizando esse calor para se evaporarem. No estado de vapor o fluido é comprimido pelo compressor aumentando-lhe a pressão e temperatura e é enviado para o condensador. Aqui o calor absorvido no evaporador é transferido para o exterior e o vapor condensa-se ficando o fluido de novo no estado líquido podendo iniciar um novo ciclo.

Mais tarde serão descritos os refrigerantes mais utilizados e as suas características técnicas.

1.31. SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO ELEMENTAR

Na Fig.13, mostra um cilindro com refrigerante, A, com a válvula fechada. A **pressão (absoluta)** no seu interior é de 6 Bar, (ou 600 kPa), ou seja 5 Bar de **pressão relativa ou manométrica**, e a temperatura é de 22° C. Todas as condições no interior do cilindro estão em equilíbrio. O número de moléculas que deixam o estado de vapor e passam ao estado líquido e as que passam do estado líquido ao de vapor, são as mesmas.

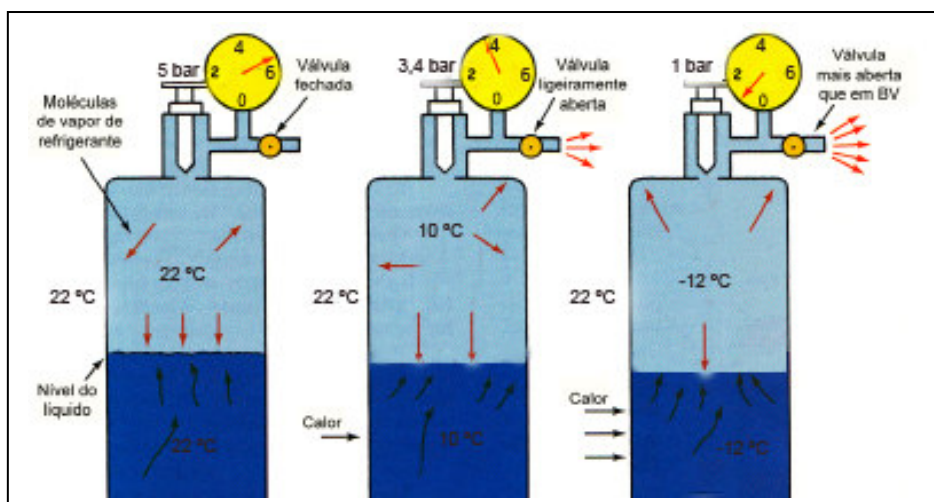


Figura 13

No cilindro B, abriu-se um pouco a válvula, deixando escapar um pouco de vapor. O resultado agora é diferente:

1. A pressão sobre o líquido refrigerante desceu para 3,4 bar. Isto causa alterações. Há mais líquido que se transforma em vapor do que vapor em líquido.

2. **Com mais líquido a transformar-se em vapor, dá-se uma absorção de calor.** O líquido refrigerante e o cilindro serão arrefecidos. A temperatura do refrigerante e do cilindro será agora de 10° C. Algum calor do ambiente que rodeia o cilindro, que está a 22° C, passará para o cilindro e para o refrigerante.

No cilindro C, abriu-se mais a válvula que em B, provocando uma maior saída de gás, teremos como resultado uma pressão ainda menor no interior do cilindro, e uma maior evaporação do refrigerante.

O incremento da evaporação baixará ainda mais a temperatura do cilindro e do refrigerante. Então mais calor será retirado ao meio ambiente pelo cilindro arrefecido.

No cilindro A, existe um estado de equilíbrio (balanço), entre todas as pressões e temperaturas em questão.

No cilindro B, Existe um pequeno desequilíbrio devido ao vapor que escapa através da válvula. Se esta situação permanecer durante um período de tempo significativo, o balanço ficará de novo em equilíbrio. No entanto nesta condição o balanço não será estático como em A. O sistema ficará balanceado entre a quantidade de calor que é fornecida ao cilindro, a evaporação do refrigerante e o fluxo de saída de vapor que sai pela válvula. Nestas condições o refrigerante arrefecerá o cilindro e o ambiente à sua volta.

Quanto mais tempo a válvula estiver aberta, menor será a temperatura, dado que haverá mais moléculas que mudam de estado de líquido para gás que do estado de vapor para líquido.

Se pudermos reduzir a pressão, a temperatura do líquido pode ser reduzida mantendo o mesmo em estado de evaporação.

Se o vapor pode ser retirado rapidamente, então a pressão pode ser suficientemente baixa, mantendo a evaporação na escala de temperaturas desse refrigerante. **As moléculas de vapor são em geral aspiradas por um compressor, ou utilizando substâncias químicas que absorvem essas moléculas.**

A operação de um sistema de refrigeração mecânico, baseia-se na propriedade dos fluidos de absorverem calor quando passam do estado líquido para o estado de vapor. Se colocarmos o cilindro de refrigerante no interior de uma caixa, e fizermos com que o vapor que passa pela válvula saia para o exterior, teremos um absorvedor de calor dentro da caixa, como se mostra na Fig.14

O líquido só ferve a uma temperatura igual ou superior à sua temperatura de evaporação para uma dada pressão. Vamos supor -7°C. Este líquido permanecerá a esta temperatura até que

esteja totalmente evaporado.

Se fornecermos mais calor, apenas provocaremos uma evaporação mais rápida do líquido. A pressão deverá permanecer constante.

Dado que o líquido está a uma baixa temperatura, haverá uma passagem de calor dos objectos que o rodeiam para o próprio líquido. Este calor irá por sua vez incrementar a evaporação, e o calor é transportado para o exterior à medida que o vapor for extraído.

Então o fluido quando muda o seu estado de líquido para vapor absorve a energia (calor) dos objectos que o rodeiam. Esse calor é removido quando extraímos o vapor para o exterior da caixa.

Este sistema de refrigeração funciona bem, mas é muito caro pois perdemos o fluido refrigerante. Alguns transportes frigoríficos utilizam este sistema, usam o nitrogénio, (azoto) que é relativamente barato.

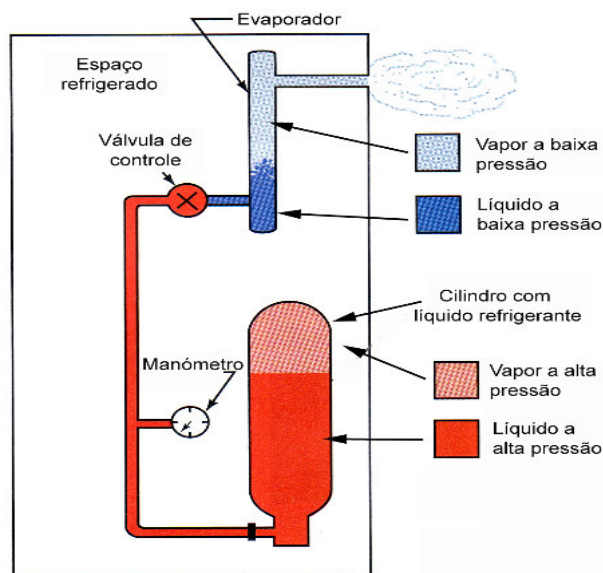


Figura 14

Figura 14

1.32. SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO MECÂNICO

Num sistema mecânico de refrigeração, o fluido vaporizado é recapturado, comprimido e arrefecido para líquido de novo, podendo ser reutilizado como mostra a Fig.15

Para seguirmos o ciclo de refrigeração com o cilindro. O é o R-134a.

O fluido, está à pressão correspondente à temperatura da sala de 22° C. Para o R-134a, esta pressão relativa ou manométrica é de, aproximadamente, 5 Bar (73 psig ou 500 kPa), quando a unidade está parada, mas maior quando está em funcionamento.

No controlo de refrigerante, a pressão é reduzida para termos baixa pressão e baixa temperatura de evaporação no evaporador (serpentina de arrefecimento). Se a temperatura necessária no interior da caixa é 1,5° C, a pressão no evaporador, deverá ser igual ou inferior a 2 bar (30,4 psig ou 200 kPa) pressões manométricas.

O objectivo do controlo de refrigerante, é controlar o fluxo de refrigerante que passa do depósito de líquido (alta pressão) para o evaporador (baixa pressão). Ao mesmo tempo, ele deve manter a diferença de pressões entre a parte de alta e a parte de baixa do sistema.

No evaporador, o líquido refrigerante está agora a uma pressão muito reduzida e ele evaporará ou ferverá muito rapidamente. Tal arrefecerá o evaporador. O compressor, cria uma baixa pressão e aspira o vapor do refrigerante evaporado no evaporador, comprimindo-o para o lado de alta pressão.

O gás quente a alta pressão à saída do compressor segue para o condensador com temperatura muito superior à do ambiente libertando para este algum calor.

Ao percorrer o condensador, arrefece e perde o seu calor latente de condensação. Ele volta ao estado líquido. Como líquido, ele passa da saída do condensador para o depósito de líquido.

Este ciclo de refrigeração é repetido as vezes necessárias para se atingir a temperatura desejada no espaço a arrefecer. Então um termostato abre o circuito eléctrico de alimentação do motor e o compressor pára.

A pressão no evaporador determina a temperatura a que o refrigerante é eevaporado, a quantidade de calor removido depende da quantidade de fluido (massa) evaporado.

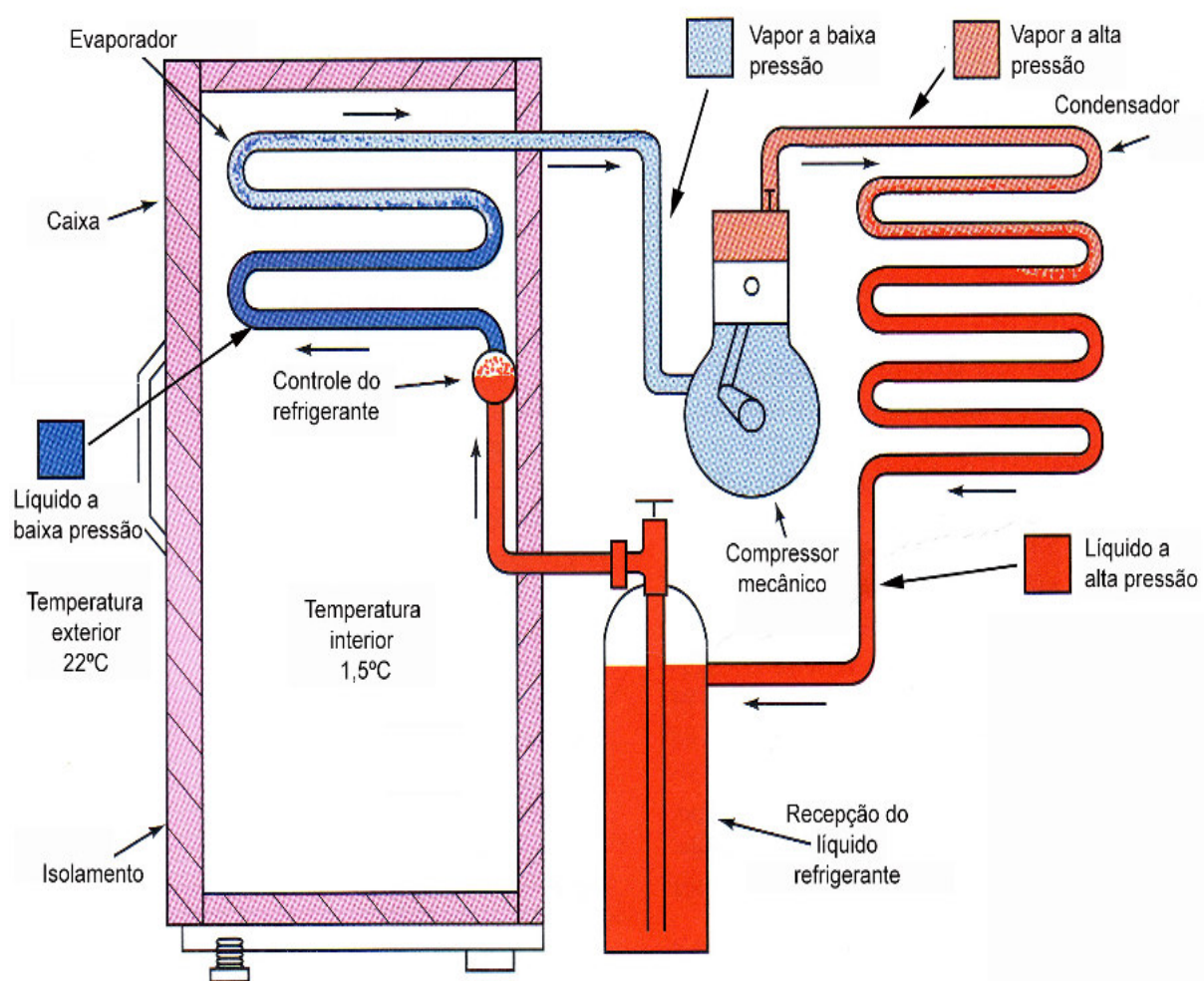


Figura 15

1.33. VAPOR SATURADO

O termo "vapor saturado" identifica uma condição de equilíbrio num refrigerante encerrado. O equilíbrio é de tal forma que algum do vapor em contacto com a superfície do líquido condensa assim que houver uma pequena diminuição da temperatura ou incremento da pressão. Numa condição de saturação a parte de refrigerante que pode estar no estado de vapor para uma certa pressão e temperatura mantêm-se estacionária.

1.34. Circuito de Refrigeração

1.33.1. Comportamento de um fluido num circuito de refrigeração

A principal diferença entre um líquido e um gás reside na distância entre as partículas que os constituem e não na dimensão dessas partículas. Quando se força um líquido a passar à fase gasosa, como por exemplo quando se ferve água, transfere-se energia sob forma de calor para a água, mas essa energia, uma vez atingida a temperatura de ebulição, não é investida em aumento de temperatura, **mas armazenada pelo sistema como energia necessária para aumentar a distancia entre as molécula de água.** Por esse motivo, **durante a ebulição a temperatura não varia.** Quando o calor "investido" numa transformação se sente sob forma de temperatura, dizemos que estamos em presença de "**calor sensível**". Se o calor transferido é "armazenado" sob forma de aumento da energia potencial entre partículas (aumento da distância) dizemos que se trata de "**calor latente**." Repare-se que este é um dos casos em que a palavra calor é utilizada com alguma latitude, eventualmente pouco correta, mas prática no dia a dia.

Uma conclusão importante se pode tirar deste comportamento energético associado à mudança de fase: **para que um líquido passe à fase gasosa precisa de absorver energia,** absorção que não se traduz em aumento de temperatura do líquido ou do gás que se forma.

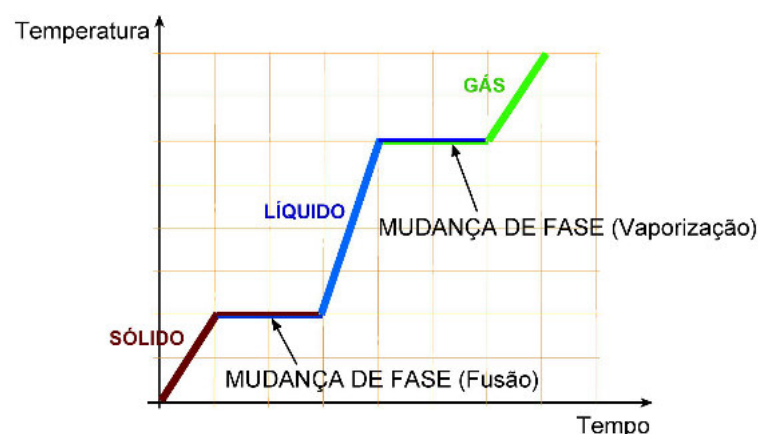


Fig. 16 – Temperatura e mudanças de fase. Durante as mudanças de fase a temperatura não se altera apesar de se fornecer energia térmica ao sistema

Quando um **compressor** recebe um gás e o comprime, realiza um trabalho – compressão quase adiabática - sobre as partículas desse gás. Em resultado desse trabalho, há uma energia que se acumula no gás e que se traduz numa aproximação forçada das partículas que o compõem e, de uma forma geral, no aumento da velocidade com que essas partículas se agitam, ou seja, a sua temperatura e pressão sobre as paredes que o confinam aumentam. O aumento de pressão pode ser tão grande que o gás esteja em condições de passar à fase líquida tão cedo a sua temperatura baixe o suficiente para o permitir.

Assim, se se permitir que a temperatura deste fluido baixe, ele poderá permanecer líquido, mas desde que continue à elevada pressão a que está submetido.

Vamos agora supor que este líquido (gás liquefeito) se evapora. Pelos motivos acima referidos, vai precisar de absorver energia para que essa mudança se verifique, e essa energia terá que ser fornecida pelo meio em que se encontra, meio esse que necessariamente arrefece.

Num circuito frigorífico comprimimos um fluido, arrefecemos o gás resultante até ficar líquido e a alta pressão (condensador), expandimo-lo bruscamente (**válvula expansora, tubo capilar**) obrigando-o a passar à fase gasosa num local convenientemente escolhido (**evaporador**) e repetimos o ciclo.

1.34.2. Breve apontamento sobre Fluidos Frigorigéneos

O é, como se referiu, o agente responsável pelo transporte da energia térmica entre o compressor e o evaporador. Acresce uma função importante, que é a de transportar o óleo adequado para lubrificar as partes móveis da instalação frigorífica.

Muito se tem escrito e dito sobre fluidos frigorigéneos, em particular na perspectiva dos riscos que alguns desses fluidos acarretam para o ambiente. Dadas as implicações que este tema tem no comportamento das instalações, conjugadas com a questão ambiental, importa que as pessoas encarregadas de trabalho de peritagem tenham presentes alguns dados fundamentais para uma correta compreensão do problema.

Quando há alguns anos se detectou o aparecimento de uma falha na camada de ozono que protege o planeta da radiação solar de baixo comprimento de onda, **verificou-se que um dos causadores desse desaparecimento do ozono eram os gases do tipo “clorados”**, usados como propulsores em muito sprays e particularmente como fluidos frigorigéneos em instalações produtoras de frio. Entre esses gases encontravam-se por exemplo os denominados Fréon's (R11, R12, R13, R31, ...), o R22, entre outros.

Após diversas convenções internacionais foi deliberado proibir a comercialização destes fluidos e a sua substituição progressiva por outros que não afectassem a camada de ozono. Em Portugal, como noutros países, esta diretiva foi acatada, procedendo-se paralelamente à certificação do pessoal manuseador destes fluidos, nomeadamente os técnicos de refrigeração e de AVAC de modo a prepará-los para uma atuação correta face aos mesmos.

Para substituir os fluidos em causa, foram encontradas soluções que podem ser postas em prática em alguns casos. No entanto, de uma forma geral, a mudança de fluido implica mudanças nos equipamentos, umas vezes ao nível da regulação dos mesmos, outras vezes ao

nível dos próprios componentes físicos do sistema, com eventual reposição integral.

Se esta solução é adequada para a resolução do problema do ozono, o mesmo não se poderá dizer em relação ao efeito estufa, já que estes novos fluidos – os “fluorados” – contribuem de forma acentuada para este efeito, contribuição que poderá ser milhares de vezes superior ao provocado pelas mesmas quantidades de dióxido de carbono (CO_2). Esta circunstância conduziu ao estabelecimento do **Protocolo de Quioto** e ao aparecimento da regulamentação europeia atrás referida e conducente à melhoria das condições de manuseamento destes fluidos, principalmente no que respeita a um escrupuloso controle dos processos de detecção e controle de fugas.

Tenha-se no entanto em conta que, em valores absolutos, o contributo dos fluidos frigorigéneos para o efeito de estufa acaba por ser relativamente reduzido, quando comparado com a grande quantidade de CO_2 presente na atmosfera

1.34.3. Comportamento do fluido e ligação com o Diagrama de Mollier.

Os sistemas de produção de frio têm como objectivo manter um espaço ou uma substância a uma temperatura inferior à do ambiente.

Isto obtém-se fazendo transportar o calor desde o ponto donde se pretende ter uma baixa temperatura, até a uma zona onde ela está mais elevada. Este transporte de calor realiza-se por meio de um fluido que se movimentará da zona a baixa temperatura para a de alta.

Por esta razão para conseguirmos esta transferência de calor, ela terá que ser feita de uma maneira forçada. Isto quer dizer que é necessário realizar trabalho, ou seja, e como se viu antes, fornecer energia para atingirmos este objectivo.



O funcionamento de uma instalação frigorífica baseia-se no esquema de princípio da figura 16 e no esquema operacional da figura 17. Recorde-se o estudo feito no capítulo anterior, relativo ao comportamento dos fluidos num circuito frigorífico.

Importa recapitular o comportamento de um fluido em paralelo com a observação deste esquema mecânico. Este estudo ficará mais claro se for acompanhado de um diagrama muito útil para descrever o comportamento de fluidos, denominado **Diagrama de Mollier** (ou **Diagrama PH**). Neste diagrama, representa-se o fluido não só na fase gasosa, mas também na fase líquida, **utilizando como coordenadas a pressão (P) e uma medida da energia interna do fluido, denominada Entalpia (H)**. A figura que se segue descreve o comportamento do fluido num Diagrama de Mollier, tendo como pontos de referência os pontos 1,2,3 e 4 assinalados no esquema do circuito frigorífico da figura anterior

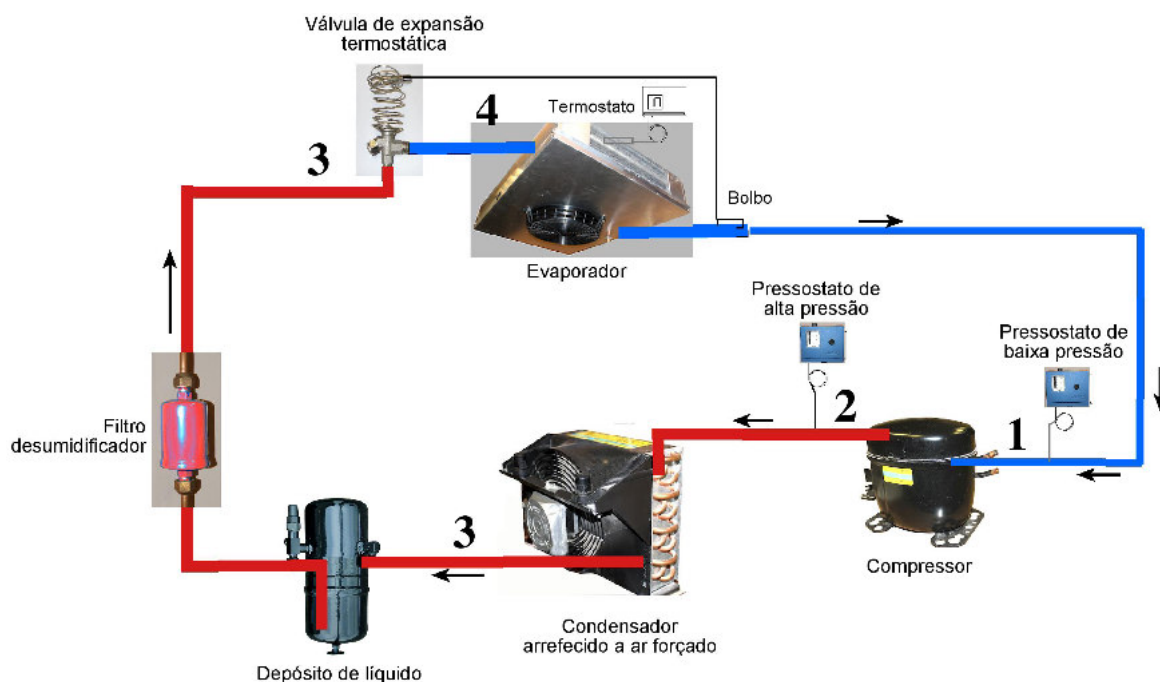


Fig. 17 - Esquema básico de uma instalação frigorífica

Cada fluido frigorígeno tem uma curva característica

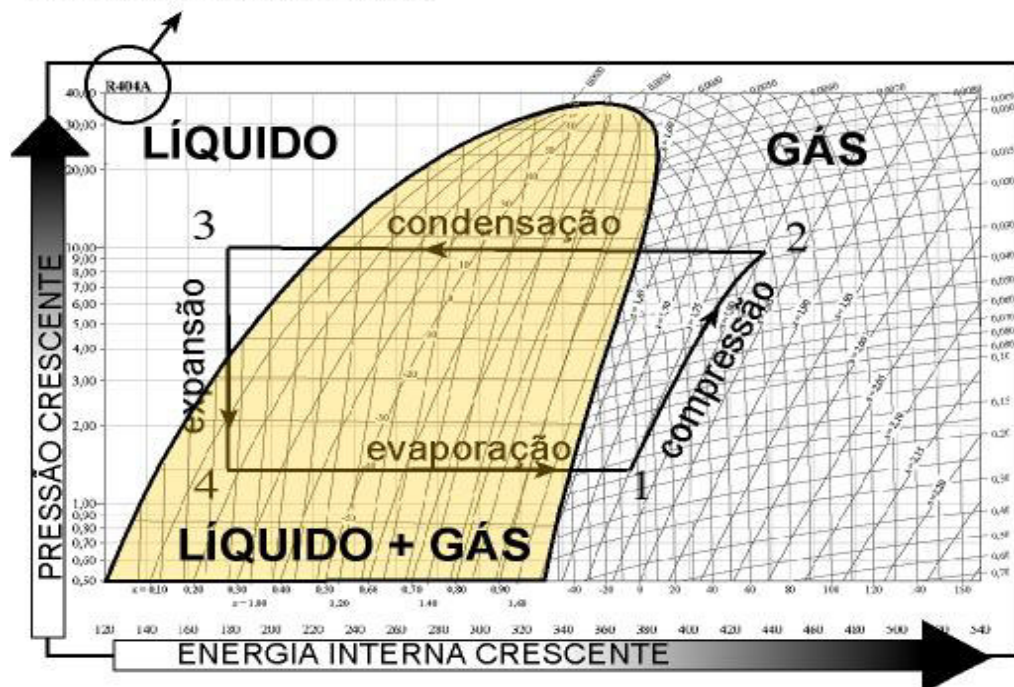


Fig. 18 – Diagrama de Mollier e transformações de um fluido num circuito frigorífico

Compressão 1→2:

Como se viu, é necessário comprimir o fluido na fase gasosa, o que se faz no **compressor**. Nesta compressão, devido ao trabalho realizado pelo compressor sobre o fluido, **aumenta a temperatura e a pressão, mantendo-se o fluido na fase gasosa**.

Condensação 2→3:

O fluido comprimido e a elevada temperatura, passa através do **condensador**. Este não é mais que um conjunto de tubos arrefecidos, geralmente com ar circulante. A temperatura do fluido baixa, mantendo-se a sua pressão muito elevada e constante. **O fluido passa da fase gasosa para a fase líquida**, passando por um estado intermédio em que o líquido se encontra misturado com gás. **A diferença de temperaturas entre o ar exterior e a temperatura de condensação deve rondar os 15°C**, encontramos-nos na região de alta pressão do circuito.

Expansão 3→4:

Este fluido é depois obrigado a passar por um tubo muito estreito, que pode ter a forma de um **tubo capilar** (frigoríficos domésticos) ou de uma **válvula expansora**. Neste ponto, o líquido vai expandir bruscamente, passando por uma curta fase de mistura líquido-gás. Este abaixamento de pressão, caracterizado por grande rapidez, **faz-se a energia interna praticamente constante**.

Evaporação 4→1:

A mistura líquido-gás resultante da expansão, é aspirada pelo compressor e acaba por se evaporar completamente, a pressão constante, num dispositivo do circuito denominado “**evaporador**”. Para vaporizar, o fluido precisa, como se viu anteriormente, **de absorver energia calorífica do ambiente, alimentando o aumento da sua energia interna, pelo que o meio em que o evaporador se encontra vai arrefecer. Estamos na região de baixa temperatura e baixa pressão do circuito**.

O fluido evaporado é novamente aspirado pelo compressor, repetindo-se o ciclo.

1.34.4. Sobreaquecimento

Denomina-se sobreaquecimento total à diferença de temperatura entre a temperatura de evaporação e a temperatura de entrada do fluido no compressor.

No caso de existir válvula expansora com bolbo, existe também o sobreaquecimento do ciclo ou da válvula que é a diferença entre a temperatura de evaporação e a temperatura do fluido junto ao bolbo da válvula, **que deve ter um valor entre 5 a 7°C, e que permite o funcionamento da mesma**.

Neste caso o sobreaquecimento total será igual à soma do sobreaquecimento da válvula verificado até ao bolbo mais o sobreaquecimento do fluido na tubagem de aspiração entre o bolbo da válvula e a entrada do compressor.

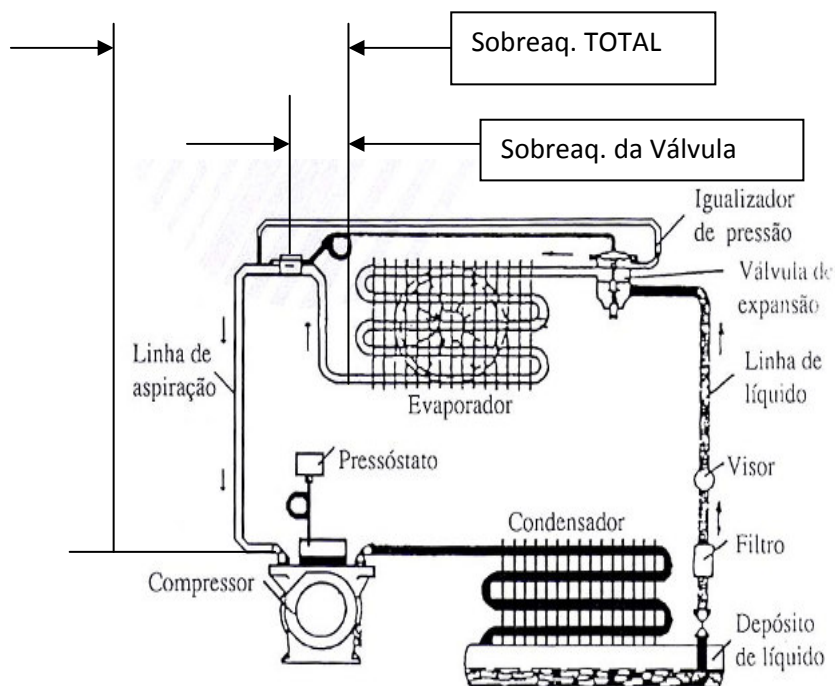


Figura 19 - Sobreaquecimento

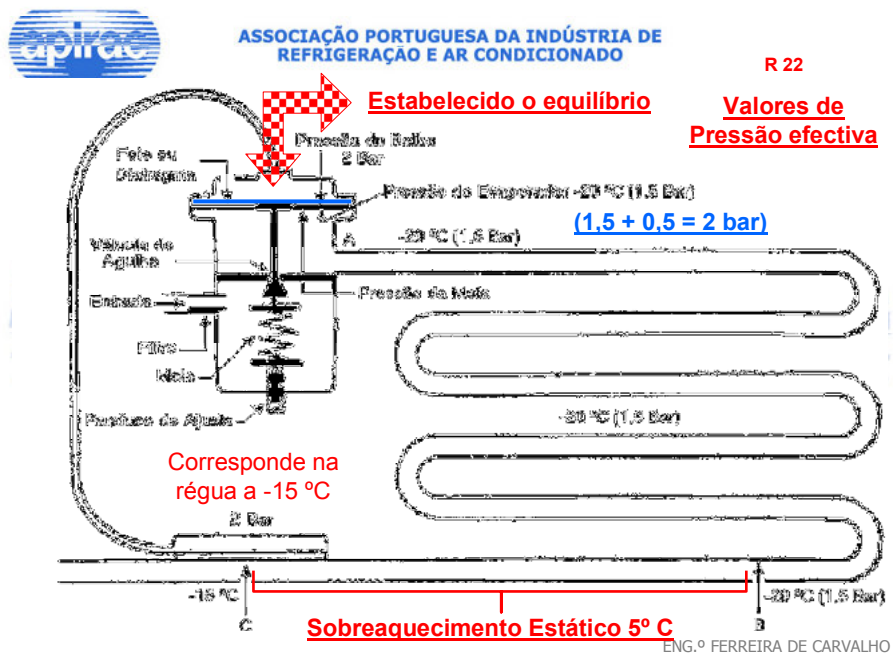


Figura 20 – Funcionamento da válvula expansora