

FIRJAN

CIRJ

SESI

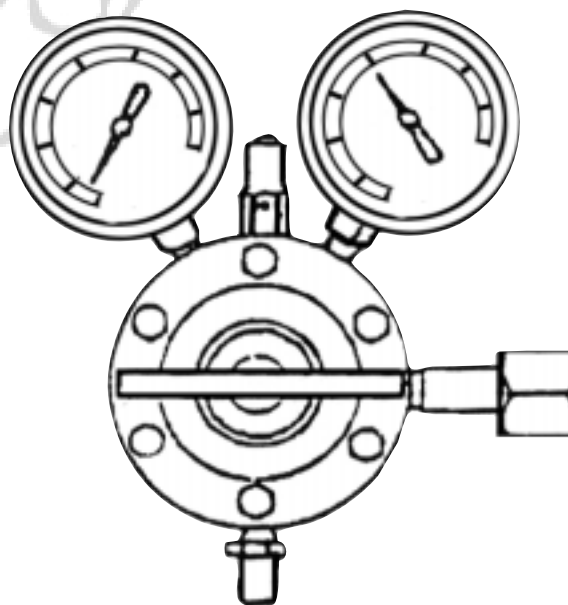
SENAI

IEL

MECÂNICO DE REFRIGERAÇÃO DOMICILIAR

REFRIGERADORES/CONGELADORES II

versão preliminar



FIRJAN

CIRJ

SESI

SENAI

IEL

MECÂNICO DE REFRIGERAÇÃO DOMICILIAR

REFRIGERADORES/CONGELADORES II

FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
Eduardo Eugenio Gouvêa Vieira
Presidente

Diretoria Corporativa Operacional
Augusto Cesar Franco de Alencar
Diretor

SENAI-Rio de Janeiro
Fernando Sampaio Alves Guimarães
Diretor Regional

Diretoria de Educação
Regina Maria de Fátima Torres
Diretora

MECÂNICO DE REFRIGERAÇÃO DOMICILIAR

REFRIGERADORES/CONGELADORES II

versão preliminar



Mecânico de Refrigeração Domiciliar: Refrigeradores/Congeladores II
2002

SENAI-Rio de Janeiro
Diretoria de Educação

Ficha técnica

Gerência de Educação Profissional	Luis Roberto Arruda
Gerência de Produto	Darci Pereira Garios
Produção Editorial	Vera Regina Costa Abreu
Pesquisa de Conteúdo e Redação	Eduardo Renato da Costa Dantas Machado
Revisão Pedagógica	Maria Angela Calvão da Silva
Revisão Gramatical e Editorial	Maria Angela Calvão da Silva
Revisão Técnica	Antônio Joaquim Pereira Sobrinho
	Rui André Lichtenfels
Projeto Gráfico	Artae Design & Criação

Edição revista do material Mecânico Refrigeração Domiciliar, publicado pelo Centro de Tecnologia Euvaldo Lodi, SENAI-RJ.

SENAI-Rio de Janeiro
GEP - Gerência de Educação Profissional
Rua Mariz e Barros, 678 - Tijuca
20270-002 - Rio de Janeiro - RJ
Tel.: (0xx21) 2587-1117
Fax: (0xx21) 2254-2884
<http://www.rj.senai.br>

Sumário

	APRESENTAÇÃO.....	9
	UMA PALAVRA INICIAL	11
1	INTRODUÇÃO	15
2	TERMOLOGIA.....	19
3	TERMOMETRIA	31
4	PREPARAÇÃO DE TUBOS PARA USO EM REFRIGERAÇÃO	59
5	PROCEDIMENTOS PARA SOLDAGEM.....	71
6	CICLO DE REFRIGERAÇÃO	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103



Apresentação

A dinâmica social dos tempos de globalização exige dos profissionais atualização constante. Mesmo as áreas tecnológicas de ponta ficam obsoletas em ciclos cada vez mais curtos, trazendo desafios renovados a cada dia e tendo como consequência para a educação a necessidade de encontrar novas e rápidas respostas.

Nesse cenário, impõe-se a educação continuada, exigindo que os profissionais busquem atualização constante durante toda a vida - e os docentes e alunos do SENAI/RJ incluem-se nessas novas demandas sociais.

É preciso, pois, promover, tanto para os docentes como para os alunos da educação profissional, as condições que propiciem o desenvolvimento de novas formas de ensinar e de aprender, favorecendo o trabalho de equipe, a pesquisa, a iniciativa e a criatividade, entre outros aspectos, ampliando suas possibilidades de atuar com autonomia, de forma competente.

O Mecânico em Refrigeração, além de possuir as habilidades específicas para a atuação nessa área, deve dominar matérias como matemática e física.

Este material apresenta, além dos conceitos físicos necessários ao trabalho com refrigeradores e congeladores, os princípios básicos à sua manutenção e as técnicas de soldagem dos tubos de refrigeração. Seu conteúdo deverá ser conhecido em profundidade pelo técnico e aplicado com exatidão, para que os resultados sejam obtidos satisfatoriamente.

É indispensável, portanto, que este material didático-pedagógico seja lido e estudado com toda atenção, interesse e aplicação, a fim de que todas as fases do trabalho sejam conhecidas e experienciadas pelo aluno.



Uma palavra inicial

Meio ambiente...

Saúde e segurança no trabalho...

O que é que nós temos a ver com isso?

Antes de iniciarmos o estudo deste material, há dois pontos que merecem destaque: a relação entre o processo produtivo e o meio ambiente; e a questão da saúde e segurança no trabalho.

As indústrias e os negócios são a base da economia moderna. Produzem os bens e serviços necessários, e dão acesso a emprego e renda; mas, para atender a essas necessidades, precisam usar recursos e matérias-primas. Os impactos no meio ambiente muito freqüentemente decorrem do tipo de indústria existente no local, do que ela produz e, principalmente, de *como* produz.

É preciso entender que todas as atividades humanas transformam o ambiente. Estamos sempre retirando materiais da natureza, transformando-os e depois jogando o que “sobra” de volta ao ambiente natural. Ao retirar do meio ambiente os materiais necessários para produzir bens, altera-se o equilíbrio dos ecossistemas e arrisca-se ao esgotamento de diversos recursos naturais que não são renováveis ou, quando o são, têm sua renovação prejudicada pela velocidade da extração, superior à capacidade da natureza para se recompor. É necessário fazer planos de curto e longo prazo, para diminuir os impactos que o processo produtivo causa na natureza. Além disso, as indústrias precisam se preocupar com a recomposição da paisagem e ter em mente a saúde dos seus trabalhadores e da população que vive ao redor dessas indústrias.

Com o crescimento da industrialização e a sua concentração em determinadas áreas, o problema da poluição aumentou e se intensificou. A questão da poluição do ar e da água é bastante complexa, pois as emissões poluentes se espalham de um ponto fixo para uma grande região, dependendo dos ventos, do curso da água e das demais condições ambientais, tornando difícil localizar, com precisão, a origem do problema. No entanto, é importante repetir que, quando as indústrias depositam no solo os resíduos, quando lançam efluentes sem tratamento em rios, lagoas e demais corpos hídricos, causam danos ao meio ambiente.

O uso indiscriminado dos recursos naturais e a contínua acumulação de lixo mostram a falha básica de nosso sistema produtivo: ele opera em linha reta. Extraem-se as matérias-primas através de processos de produção desperdiçadores e que produzem subprodutos tóxicos. Fabricam-se produtos de utilidade



limitada que, finalmente, viram lixo, o qual se acumula nos aterros. Produzir, consumir e dispensar bens desta forma, obviamente, não é sustentável.

Enquanto os resíduos naturais (que não podem, propriamente, ser chamados de “lixo”) são absorvidos e reaproveitados pela natureza, a maioria dos resíduos deixados pelas indústrias não tem aproveitamento para qualquer espécie de organismo vivo e, para alguns, pode até ser fatal. O meio ambiente pode absorver resíduos, redistribuí-los e transformá-los. Mas, da mesma forma que a Terra possui uma capacidade limitada de produzir recursos renováveis, sua capacidade de receber resíduos também é restrita, e a de receber resíduos tóxicos praticamente não existe.

Ganha força, atualmente, a idéia de que as empresas devem ter procedimentos éticos que considerem a preservação do ambiente como uma parte de sua missão. Isto quer dizer que se devem adotar práticas que incluam tal preocupação, introduzindo processos que reduzam o uso de matérias-primas e energia, diminuam os resíduos e impeçam a poluição.

Cada indústria tem suas próprias características. Mas já sabemos que a conservação de recursos é importante. Deve haver crescente preocupação com a qualidade, durabilidade, possibilidade de conserto e vida útil dos produtos.

As empresas precisam não só continuar reduzindo a poluição, como também buscar novas formas de economizar energia, melhorar os efluentes, reduzir a poluição, o lixo, o uso de matérias-primas. Reciclar e conservar energia são atitudes essenciais no mundo contemporâneo.

É difícil ter uma visão única que seja útil para todas as empresas. Cada uma enfrenta desafios diferentes e pode se beneficiar de sua própria visão de futuro. Ao olhar para o futuro, nós (o público, as empresas, as cidades e as nações) podemos decidir quais alternativas são mais desejáveis e trabalhar com elas.

Infelizmente, tanto os indivíduos quanto as instituições só mudarão as suas práticas quando acreditarem que seu novo comportamento lhes trará benefícios — sejam estes financeiros, para sua reputação ou para sua segurança.

A mudança nos hábitos não é uma coisa que possa ser imposta. Deve ser uma escolha de pessoas bem-informadas a favor de bens e serviços sustentáveis. A tarefa é criar condições que melhorem a capacidade de as pessoas escolherem, usarem e disporem de bens e serviços de forma sustentável.

Além dos impactos causados na natureza, diversos são os malefícios à saúde humana provocados pela poluição do ar, dos rios e mares, assim como são inerentes aos processos produtivos alguns riscos à saúde e segurança do trabalhador. Atualmente, acidente do trabalho é uma questão que preocupa os empregadores, empregados e governantes, e as consequências acabam afetando a todos.

De um lado, é necessário que os trabalhadores adotem um comportamento seguro no trabalho, usando os equipamentos de proteção individual e coletiva, de outro, cabe aos empregadores prover a empresa com esses equipamentos, orientar quanto ao seu uso, fiscalizar as condições da cadeia produtiva e a adequação dos equipamentos de proteção.

A redução do número de acidentes só será possível à medida que cada um – trabalhador, patrão e governo – assuma, em todas as situações, atitudes preventivas, capazes de resguardar a segurança de todos.



Deve-se considerar, também, que cada indústria possui um sistema produtivo próprio, e, portanto, é necessário analisá-lo em sua especificidade, para determinar seu impacto sobre o meio ambiente, sobre a saúde e os riscos que o sistema oferece à segurança dos trabalhadores, propondo alternativas que possam levar à melhoria de condições de vida para todos.

Da conscientização, partimos para a ação: cresce, cada vez mais, o número de países, empresas e indivíduos que, já estando conscientizados acerca dessas questões, vêm desenvolvendo ações que contribuem para proteger o meio ambiente e cuidar da nossa saúde. Mas, isso ainda não é suficiente... faz-se preciso ampliar tais ações, e a educação é um valioso recurso que pode e deve ser usado em tal direção. Assim, iniciamos este material conversando com você sobre o meio ambiente, saúde e segurança no trabalho, lembrando que, no seu exercício profissional diário, você deve agir de forma harmoniosa com o ambiente, zelando também pela segurança e saúde de todos no trabalho.

Tente responder à pergunta que inicia este texto: meio ambiente, a saúde e a segurança no trabalho – o que é que eu tenho a ver com isso? Depois, é partir para a ação. Cada um de nós é responsável. Vamos fazer a nossa parte?

Introdução



O técnico dedicado à manutenção de refrigeradores, condicionadores de ar e bebedouros deve ter uma boa noção dos fundamentos da Física. Tais conhecimentos serão indispensáveis para o entendimento do ciclo da refrigeração.

Além dos conceitos físicos abordaremos, neste fascículo, as técnicas de trabalho e soldagem de tubos de refrigeração. Os conhecimentos serão apresentados de forma objetiva, facilitando o entendimento dessas noções.

Termologia



Matéria

Matéria é tudo aquilo no universo que tem peso e ocupa lugar no espaço. Toda matéria é composta de moléculas que, por sua vez, são formadas por partículas chamadas átomos. Os átomos são compostos por partículas ainda menores, conhecidas como elétrons, prótons e nêutrons.

A matéria se apresenta na natureza em três estados de agregação: *sólido*, *líquido* e *gasoso*, que são explicados através dos movimentos das moléculas, mais ou menos intensos, com maior ou menor liberdade, dependendo do estado de agregação ou força de coesão.

Forças de Coesão

São forças de ação mútua que fazem com que as moléculas que formam as substâncias se mantenham em sua posição.

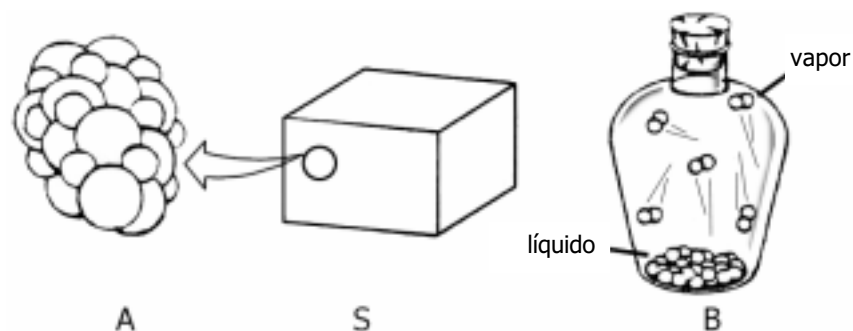


Fig. 1

No estado *sólido* (S) as moléculas estão fortemente coesas (A); nos estados *líquido* e *gasoso*, as moléculas têm maior liberdade de movimento (B).



Estado sólido

Neste estado as forças de coesão entre as moléculas são intensas e só permitem vibrações ligeiras. As moléculas dispõem-se com regularidade, formando uma rede cristalina. Assim, os sólidos apresentam forma e volume bem definidos.

Estado líquido

No estado líquido, as moléculas possuem maior liberdade de movimento e podem mover-se livremente sobre as outras, de maneira que o *material flui*.

Os líquidos são pouco compressíveis e possuem elasticidade perfeita, adaptando-se à forma do recipiente que os contem.

Estado gasoso

No estado gasoso, as forças de coesão entre as moléculas são extremamente fracas, permitindo livre movimentação. Devido à grande expansibilidade que possuem, os gases (e vapores) tendem a ocupar todo o espaço do recipiente em que estiverem contidos, não apresentando, desta forma, volume e formas definidos. Há uma diferença física entre gases e vapores.

Gases

São substâncias que se apresentam em estado aeriforme *nas condições normais de temperatura e pressão*.

Vapores

São substâncias que se apresentam em estado aeriforme, mas próximos do seu ponto de liquefação. São instáveis e passam ao estado líquido facilmente. Se colocarmos a água em presença de gelo, ocorrerá uma diminuição do movimento molecular: *a energia térmica diminuirá*.

Energia térmica

É a energia cênica associada ao movimento de agitação térmica das moléculas. Se aquecermos a água através de um bico de gás, o movimento de suas moléculas tornar-se-á mais intenso: *a energia térmica aumentará*.



Temperatura

A primeira noção de temperatura de um sistema é estabelecida através da *sensação térmica* que o mesmo nos causa, traduzida pelos termos *frio* e *quente*. No entanto, o critério sensitivo para avaliação de temperaturas é vago e impreciso, pois depende da pessoa que sente e das condições nas quais a mesma se encontrava anteriormente.

Podemos considerar a temperatura de um corpo como sendo a medida do grau de agitação de suas moléculas. Desta forma, supondo não haver mudança de fase, quando o copo recebe energia térmica, suas moléculas passam a se agitar mais intensamente: *a temperatura aumenta*.

Ao perder energia, as moléculas do corpo se agitam com menor intensidade: *a temperatura diminui*.

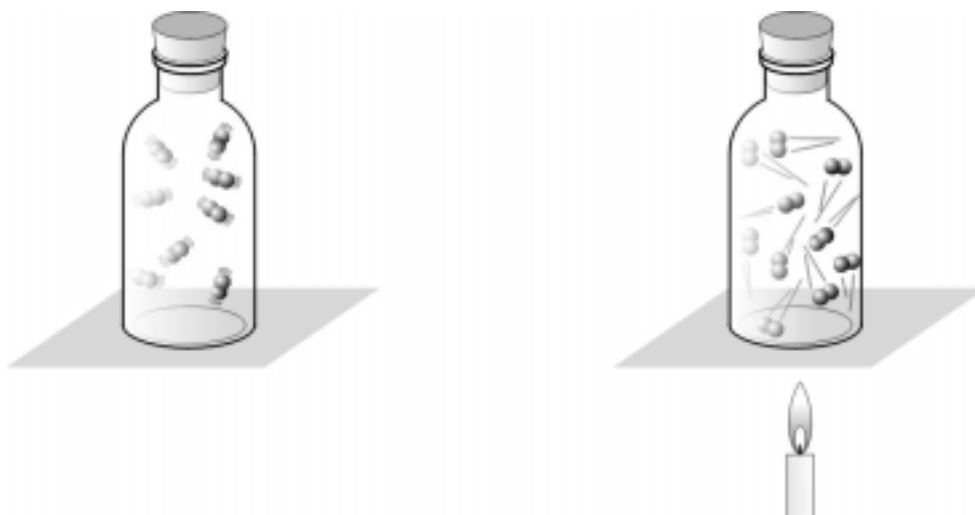


Fig. 2

As moléculas do gás, em contato com a chama, estão em movimento mais intenso: *o gás está em temperatura mais elevada*.

Pressão

Pressão é a grandeza dada pela relação entre a intensidade da força perpendicular atuante e a área em que a mesma se distribui. Esta relação se expressa pela seguinte equação:

$$P = \frac{F}{A}$$



onde:

P = pressão expressa em unidades de F por unidade de A.

F = força total em quaisquer unidades de força.

A = área total em quaisquer unidades de área.

Força

É a interação entre corpos que produzem variações em sua velocidade, isto é, que provocam acelerações.

A resultante das forças aplicadas a um material (F) é igual ao produto de sua massa (M) pela aceleração (A) adquirida:

$$\mathbf{Fr = m.a \text{ (massa X aceleração)}}$$

O peso de um corpo é a força de atração que a Terra exerce sobre ele.

Para um corpo em queda livre, desprezada a ação do ar, seu peso é igual ao produto de sua massa pela aceleração da gravidade:

$$\mathbf{P = mg}$$

onde:

P = peso do corpo

m = massa do corpo em kg

g = aceleração da gravidade em m/s²

As unidades de Força (peso) são dadas em kg m/s² ou Newton (N).

$$\mathbf{1 \text{ NEWTON} = 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$



Portanto, em termos rigorosos, é incorreto falar que o peso de um corpo é 10 kg.

Podemos referir-nos à massa de 10 quilogramas, cujo peso é 10 Newtons (g = aceleração da gravidade).



Fig. 3 - O peso de um corpo é a força de atração da Terra sobre ele.

Pressão atmosférica

Pressão atmosférica é a pressão da atmosfera terrestre na superfície da Terra. Tal fato foi evidenciado por Torricelli, ao realizar a seguinte experiência: encheu um tubo de vidro de 120 mm com mercúrio, até a borda; tapou a extremidade aberta e o inverteu num recipiente contendo mercúrio.

Torricelli concluiu que a pressão exercida pelo ar sobre a superfície livre do mercúrio era igual à pressão dos 76 cm de mercúrio contido no tubo.

$76 \text{ mm} = 760 \text{ mm Hg} = 1 \text{ atm}$

O mesmo corpo de peso 10 N está apoiado em faces de áreas diferentes. A pressão é maior na base menor.

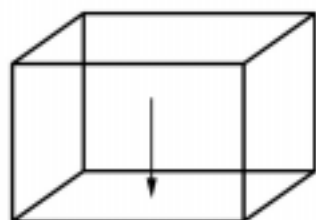


$$F_1 = 10\text{N}$$

$$A_1 = 0,4\text{m}^2$$

$$P_1 = \frac{10}{0,4}$$

$$P_1 = 25\text{N/m}^2$$



1



2

$$F_2 = 10\text{N}$$

$$A_2 = 0,2\text{m}^2$$

$$P_2 = \frac{10}{0,2}$$

$$P_2 = 50\text{N/m}^2$$

Fig. 4

Experiência de Torricelli

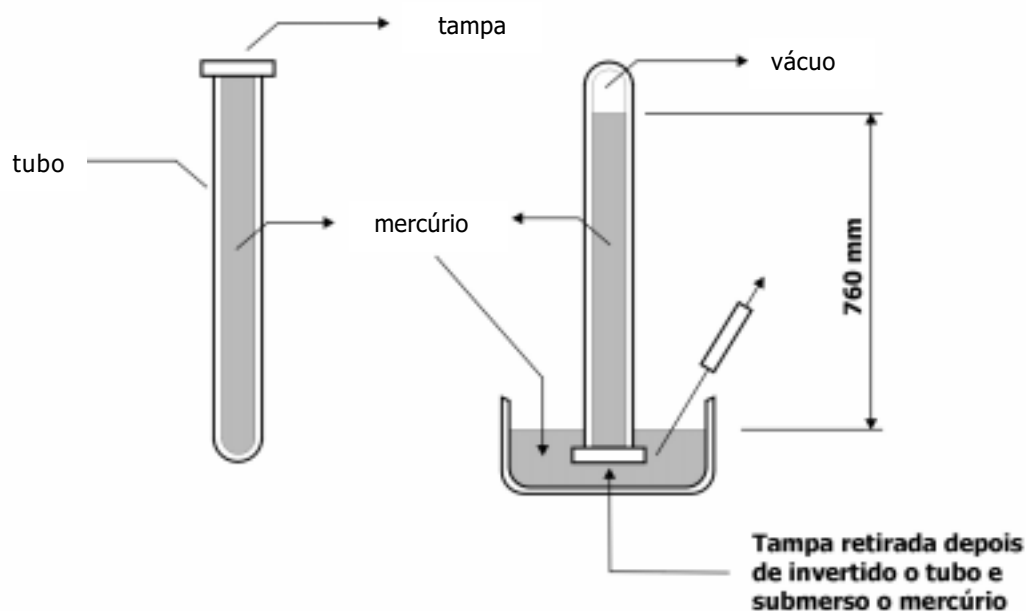


Fig. 5

A partir da experiência de Torricelli foram determinadas as unidades equivalentes. A pressão de uma coluna de mercúrio de exatamente 76 cm de mercúrio a 0° C e sob a aceleração da gravidade



normal $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ é denominada **atmosfera** (atm) ou **pressão normal**.

A massa específica do mercúrio a 0°C é $13,595 \text{ g/cm}^3$. A pressão atmosférica varia em função da altitude.

Acima do nível do mar, no topo de uma montanha, por exemplo (figura 6), eliminamos a altura da montanha da massa de ar ou atmosférica que envolve a Terra e, como consequência, a pressão diminuirá. A pressão atmosférica na cidade do Rio de Janeiro, ao nível do mar, é maior que a pressão atmosférica em Belo Horizonte (836 m).

Pressão absoluta e pressão manométrica

Pressão absoluta é a pressão total ou real de fluido.

Pressão Manométrica é a pressão lida no manômetro. Note-se que os manômetros estão calibrados para se ler zero na pressão atmosférica.

PRESSION ABSOLUTA = PRESSÃO ATMOSFÉRICA + PRESSÃO MANOMÉTRICA
--

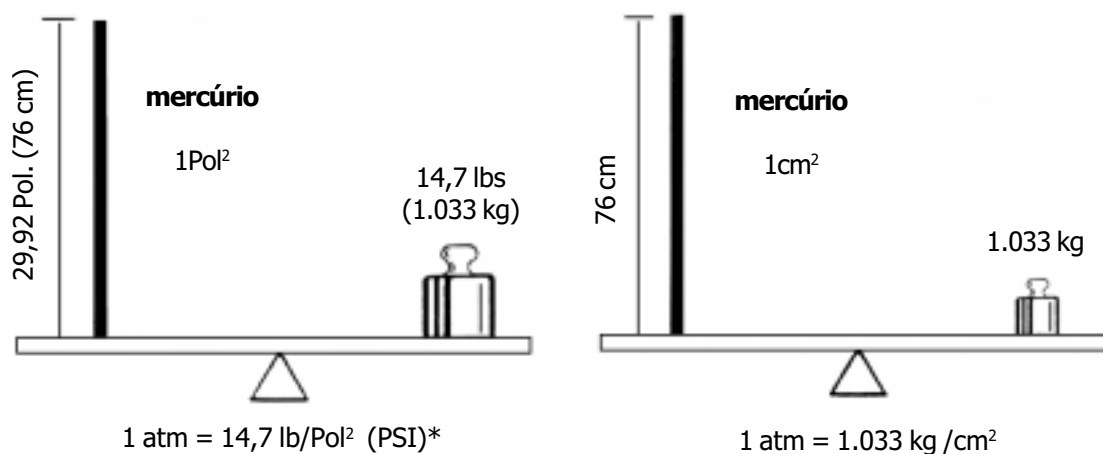


Fig. 6

*PSI = Pound Square Inches (Lb /Pol²)



Equivalência entre unidades de pressão

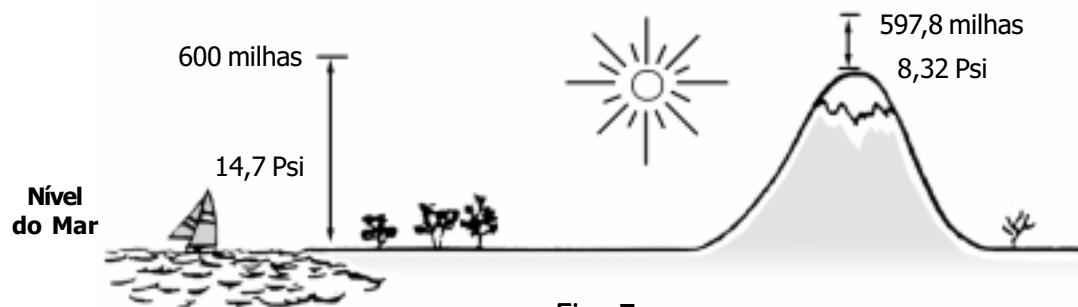


Fig. 7

A pressão atmosférica no alto da montanha é menor que a pressão atmosférica ao nível do mar.

Relação entre pressão absoluta e pressão manométrica

pressão manométrica	pressão absoluta
45	59,7
40	54,7
35	49,7
30	44,7
25	39,7
20	34,7
15	29,7
10	24,7
5	19,7
0	14,7 lb/pol ² 29,92 pol. de mercúrio
5	25
10	20
15	15
20	10
25	5
	0

pressão atmosférica 10 pol²

pressão atmosférica

pressões abaixo da atmosfera (Pol. de mercúrio)

29,92 pol. de mercúrio (14,7 lb/pol²)



Vácuo

O espaço “vazio” de pressão define-se como um **vácuo perfeito** ou **vácuo absoluto**. Qualquer espaço que contiver um gás, a uma pressão atmosférica, é considerado como estando em condições denominadas como **vácuo parcial**.

Um manômetro de mercúrio consiste em um tubo de cristal em forma de U, aberto em ambas as extremidades e parcialmente cheio de mercúrio. Quando ambas as extremidades estão abertas, a pressão atmosférica que se aplica em ambos os lados do tubo e a altura das colunas é a mesma. Conectando-se uma bomba de alto vácuo em uma das extremidades do tubo, verifica-se que o nível de mercúrio do lado aberto irá descer. Quanto maior for a quantidade de ar extraído, maior será a influência da atmosfera, sendo que a completa exaustão do ar do tubo evidenciará uma coluna de mercúrio de 76 cm acima do nível existente na parte aberta.

Os manômetros que medem pressões abaixo da pressão atmosférica são denominados **manovacuômetros**. Os manômetros dessa classe são normalmente graduados em centímetros ou polegadas de mercúrio (Hg), com origem na pressão atmosférica.

A coluna de mercúrio do lado exposto à atmosfera é menor que a coluna do lado conectado à bomba.

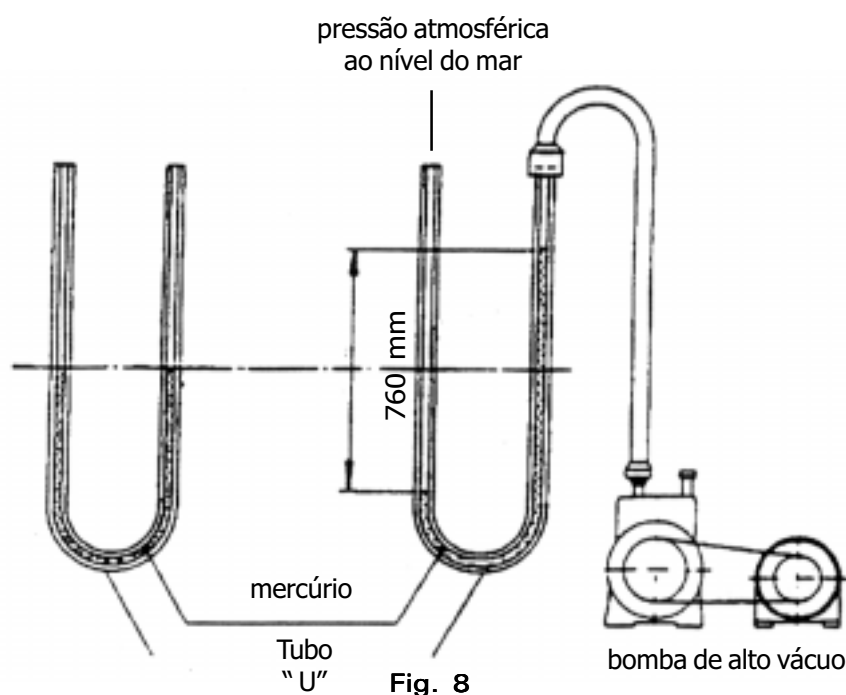


Fig. 8

Na prática, utiliza-se com freqüência a unidade micron (μ) para medir pressões abaixo da pressão atmosférica:



$$14,7 \frac{\text{lb}}{\text{pol}^2} = 1,033 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 760 \text{ mmHg} = 760.000 \mu$$

Termometria



Termômetro

Ao se aquecer uma barra, o seu comprimento aumenta (dilatação). Deste modo, a temperatura t da barra é avaliada indiretamente pelo valor assumido por seu comprimento.

O instrumento que se usa com maior frequência para medir a temperatura é o **termômetro**. A operação da maior parte dos termômetros depende da propriedade que tem o líquido de dilatar-se ou contrair-se, ao aumentar ou diminuir, respectivamente, a sua temperatura. O termômetro mais comum é o **termômetro de mercúrio**, baseado na dilatação do mercúrio contido num bulbo, ao qual se adapta uma haste de pequeno diâmetro.

A utilização de termômetro para avaliação de um sistema fundamenta-se no fato de que, após algum tempo em contato um com o outro, o sistema e o termômetro adquirem a mesma temperatura, isto é, equilíbrio térmico.

Escalas termométricas

O conjunto dos valores numéricos que pode assumir a temperatura (t) constitui uma escala termométrica, que é estabelecida ao se graduar um termômetro.

Para a graduação de um termômetro comum de mercúrio, procede-se da seguinte maneira:

1º) Escolhem-se dois sistemas, cujas temperaturas sejam invariáveis no decorrer do tempo e que possam ser reproduzidos facilmente, quando necessário.

Estes sistemas são denominados pontos fixos, sendo usualmente escolhidos.

- **Primeiro ponto fixo:** ponto de *fusão do gelo* sob pressão normal (tg).
- **Segundo ponto fixo:** ponto de *ebulição da água* sob pressão normal (tv).

2º) O termômetro é colocado em presença dos sistemas que definem os pontos fixos. A cada um vai corresponder uma altura líquida.

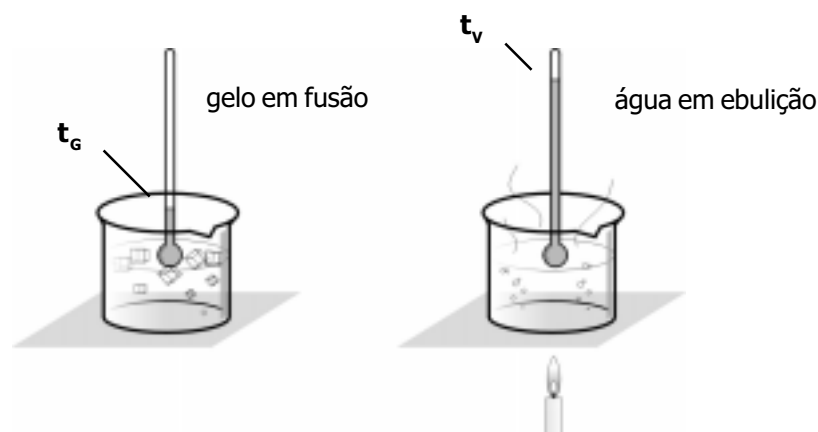


Fig.1 - Graduação de um termômetro

A cada leitura atribui-se o valor numérico arbitrário de temperatura, geralmente fazendo o menor corresponder ao ponto do gelo (t_g), e o outro, ao ponto de vapor (t_v).

3º) o intervalo delimitado entre as marcas feitas (correspondentes às temperaturas t_g e t_v) é dividido em partes iguais. Cada uma das partes em que fica dividido é a unidade de escala ou Grau da Escala.

As escalas mais utilizadas atualmente são as seguintes:

- Escala Celsius ou Centrígrada;
- Escala Fahrenheit.

Existe, ainda, a Escala Absoluta ou Kelvin.

Escala Celsius ou centrígrada

A escala Celsius adota os valores:

0 (zero) – *ponto de gelo*

100 (cem) – *ponto de vapor*

A distância na escala entre esses dois pontos divide-se em 100 unidades iguais chamadas GRAUS, de maneira que a distância entre os pontos de congelação e ebulição da água, em escala Celsius, é de 100° C.

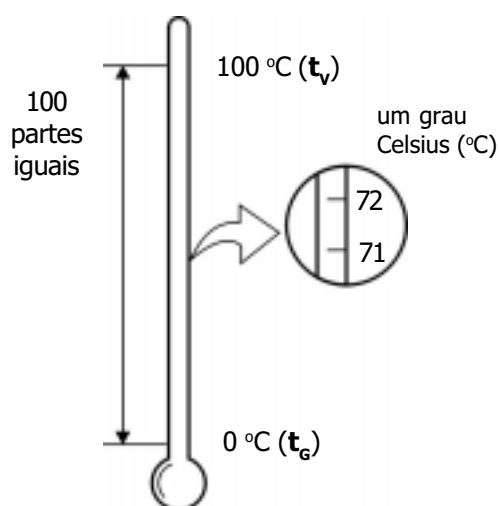


Fig. 2 - Escala Celsius



Escala Fahrenheit

A escala Fahrenheit, normalmente utilizada nos países de língua inglesa, adota os valores:

32 (trinta e dois) – *ponto de gelo*

212 (duzentos e doze) – *ponto de vapor*

O intervalo entre esses dois pontos é dividido em 180 partes, cada uma das quais é o **Grau Fahrenheit**, cujo símbolo é 100°F .

Ao criar sua escala, Fahrenheit teria adotado 0 (zero) para mistura de cloreto de amônia e neve, e 100 (cem) para a temperatura do corpo humano.

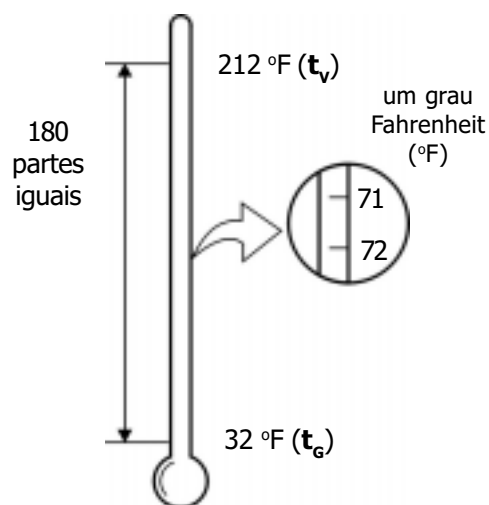


Fig. 3 - Escala Fahrenheit

Conversão de temperatura

As leituras de temperatura em uma escala Celsius podem se converter em Fahrenheit ou vice-versa. Para obtermos a relação entre as leituras, devemos estabelecer uma relação entre os segmentos x e y que são determinados na haste do termômetro.

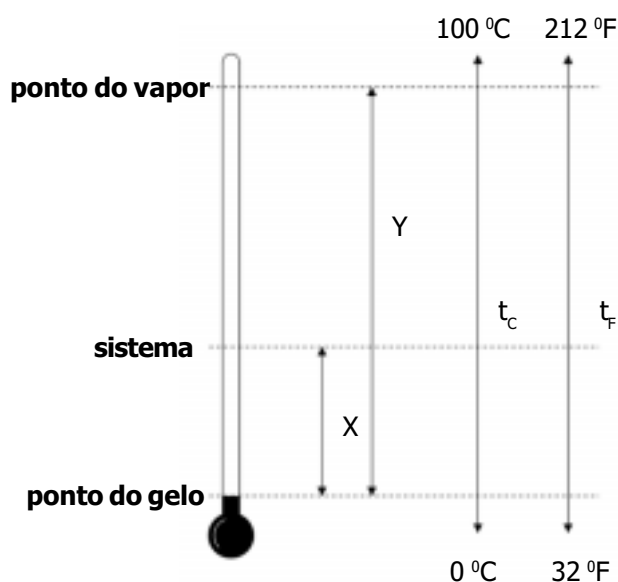


Fig. 4 - Conversão entre as leituras nas escalas Celsius e Fahrenheit



Sendo t_c a leitura Celsius e t_F a leitura Fahrenheit para dada temperatura de um sistema, a relação entre os segmentos x e y é assim representada:

$$\frac{x}{y} = \frac{t_c - 32}{100 - 0} = \frac{t_F - 32}{212 - 32}$$

$$\frac{t_c}{100} = \frac{t_F - 32}{180}$$

Desta relação obtemos:

$$t_c = \frac{5}{9} (t_F - 32)$$

$$t_F = 1,8 t_c + 32$$

Escala absoluta ou Kelvin

A temperatura mais baixa que pode existir é um estado térmico em que cessa a agitação térmica, isto é, em que as moléculas estão em repouso. A esse limite inferior de temperatura dá-se o nome de *zero absoluto* que corresponde à temperatura de $- 273, 165^{\circ}\text{C}$. Na prática, utiliza-se o valor $- 273^{\circ}\text{C}$.

Baseado neste estado térmico, Lord Kelvin estabeleceu a *escala absoluta*, que tem origem (zero) no Zero Absoluto e adota como unidade o Kelvin (K), cuja extensão é igual à do Grau Celsius (C).

Ponto de Gelo: 0°C correspondente a 273 K

Ponto de Vapor: 100°C correspondente a 373 K

Uma variação de 1°C é igual à variação de temperatura de 1 K. Assim,

$$t_K = t_c + 273$$



onde:

t_K = temperatura absoluta em graus Kelvin;

t_c = temperatura em graus Celsius.

Exemplo

Um termômetro, num tanque de compressor de ar, indica que a temperatura do ar, ali, é de 55° C. Determinar a temperatura absoluta em graus Kelvin.

Solução:

$$t_K = t_c + 273$$

$$t_K = 55 + 273$$

$$t_K = 328 \text{ K}$$

Calorimetria

Considere dois corpos A e B em diferentes temperaturas t_A e t_B , tais que $t_A > t_B$. Colocando-os em presença um do outro, verifica-se que a energia térmica é transferida de A para B. Essa energia térmica em trânsito é denominada *calor*.

Calor é a energia em trânsito entre corpos de diferentes temperaturas.

A passagem de calor cessa ao ser atingido o equilíbrio térmico, isto é, quando as temperaturas se igualam.

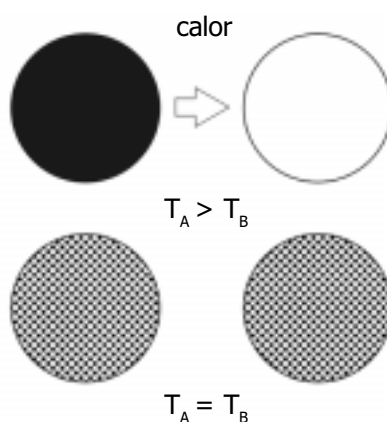


Fig. 5 - Equilíbrio térmico



O corpo A cede calor para o corpo B, até as temperaturas se igualarem.

Unidade de calor

A quantidade de calor Q trocada pelos corpos A e B (figura anterior) tem por unidade a *unidade de energia*, já que o calor é uma forma de energia, não sendo possível medi-lo diretamente. O calor só pode ser medido através de seus efeitos sobre um material; por exemplo, a mudança de temperatura, estado, tamanho, etc.

A unidade de quantidade de calor é o **Joule** (Sistema Internacional); porém, a unidade mais comumente utilizada em refrigeração é a *quilocaloria*, que se abrevia kcal. No sistema inglês utiliza-se British Thermal Unit, cuja abreviatura é btu.

Quilocaloria (Kcal)

É a unidade de quantidade de calor utilizada no sistema métrico. É a quantidade de calor necessária para produzir a elevação de 1°C em 1 quilograma de água, à pressão atmosférica normal.

British Thermal Unit (BTU)

É a unidade de quantidade de calor utilizada nos países de língua inglesa; btu é a quantidade de calor necessária para produzir a elevação de 1°F em libra de água, à pressão atmosférica normal.

Relação entre unidades: $1 \text{ btu} = 0,252 \text{ kcal}$
--

Efeitos do calor

A adição ou remoção de calor pode produzir uma mudança de estado físico da matéria, assim como mudança de temperatura.

Ao se expor uma barra de ferro à chama de um maçarico, observa-se que o calor fornecido pela chama provoca uma variação de temperatura no ferro.

Colocando um cubo de gelo numa chama, nota-se que o calor cedido pela chama provoca uma mudança de estado (fusão) no gelo. Se o efeito no corpo for apenas variação de temperatura, o calor é chamado **sensível**. Se o efeito no corpo for apenas mudança de estado, o calor é chamado **latente**.



Equação fundamental da calorimetria - calor específico

A quantidade de calor (Q) cedida ou recebida por um corpo depende de sua massa (m), da variação de temperatura (Δt = temperatura final - temperatura inicial) e da natureza do material que constitui o corpo.

Assim, temos a equação fundamental da calorimetria:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

onde:

c é o calor específico que é característico do material que constitui o corpo.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$$

$$\text{Unidade} = \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

O **calor específico de um material** é a quantidade de calor requerida para elevar a temperatura de 1 kg do material 1 °C.

Por exemplo: o calor específico do alumínio é 0,226 kcal /kg °C, enquanto que o do latão é 0,089 kcal/kg°C. Isto significa que se requerem 0,226 kcal para elevar a temperatura de 1kg de alumínio 1°C, enquanto serão necessárias somente 0,089 kcal para elevar a temperatura de 1 kg de latão 1°C.

O calor específico de um material no estado sólido é aproximadamente a metade do valor do mesmo material em estado líquido. Por exemplo: o calor específico do gelo é 0,5 kcal°C, enquanto que o da água é 1 (A água é uma das substâncias de maior calor específico na natureza).

Calor Específico de algumas substâncias:

Alumínio – 0,226 kcal/kg°C

Cobre – 0,095 kcal/kg°C

Ferro – 0,110 kcal/kg°C

Latão – 0,089 kcal/kg°C

Ouro – 0,032 kcal/kg°C

Prata – 0,056 kcal/kg°C



Para cada substância, o calor específico depende do seu estado de agregação. Para água, nos três estados, temos:

Sólido (gelo) – 0,5 kcal/kg°C

Água líquida – 1 kcal/kg°C

Vapor d'água – 0,48 kcal/kg°C

Calor latente

Há fenômenos em que ocorrem trocas de calor e a temperatura permanece constante. É o que acontece, por exemplo, durante as mudanças de fase.

Calor latente de uma mudança de fase é a quantidade de calor que a substância recebe (ou cede) por unidade de massa, durante a transformação, mantendo-se constante a temperatura.

Imaginemos um recipiente contendo gelo inicialmente a 0°C (A). Se colocarmos esse recipiente em presença de uma fonte de calor, notaremos que o gelo se transforma em água líquida, mas a temperatura durante a fusão permanece constante (B).

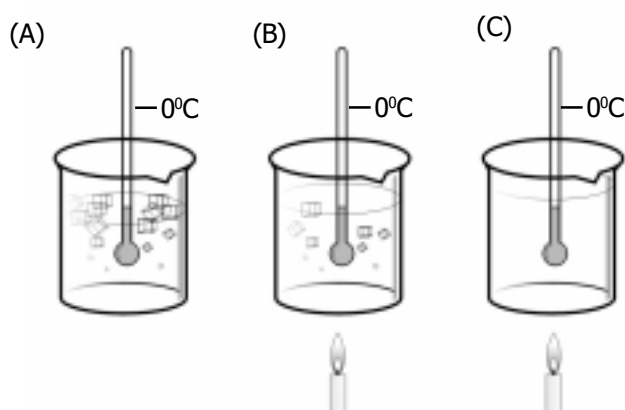


Fig. 6

Enquanto o gelo derrete, a temperatura se mantém a 0° C, sob pressão normal.

Quando o gelo derrete, verifica-se que deve receber 80 quilocalorias por quilograma, mantendo-se a temperatura constante em 0° C (C). Essa quantidade é denominada *calor latente de fusão do gelo*.

Calor latente de fusão do gelo (0° C) = 80 kcal/kg°C.

Calor latente de vaporização da água (100° C) = 539 kcal/kg°C.



A equação para cálculo da quantidade de calor latente é dada por

$$QL = mL$$

onde:

QL = quantidade de calor latente

M = massa (kg)

L = calor latente (kcal/kg)

Processos de transmissão de calor

Os principais tipos de transmissão de calor são:

- Condução;
- Convecção;
- Irradiação.

Condução térmica

Segure a extremidade de uma barra de ferro e leve a outra extremidade a uma chama. Após um intervalo de tempo relativamente curto, a extremidade que você segura estará quente.

O processo pelo qual o calor se propagou para a mão é denominado **condução térmica**.

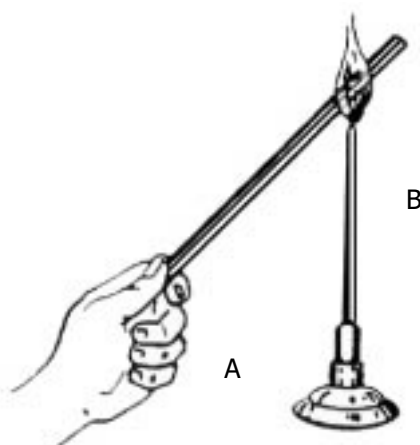


Fig. 7

O ferro é bom condutor. O calor se propaga rapidamente da extremidade B para A.



No exemplo dado, parte da energia calorífica da extremidade quente fluirá. Por condução de molécula a molécula, através da barra, para a outra extremidade.

Esponaneamente, o calor sempre se propaga de um corpo com maior temperatura para um corpo de menor temperatura.

Se a experiência descrita fosse realizada com uma barra de vidro, só após muito tempo a extremidade A estaria aquecida, pois o vidro é um mau condutor ou isolante térmico.

O isolamento térmico é uma importante aplicação relacionada com a condução. Assim, utilizam-se materiais isolantes térmicos para manter um corpo numa temperatura mais alta ou mais baixa que o ambiente. A capacidade relativa de condução de calor em um material é conhecida como **condutividade térmica**. Os materiais que são bons condutores de calor têm uma alta condutividade térmica e os maus condutores de calor têm baixa condutividade e são empregados como isolantes térmicos.

Em geral, os sólidos conduzem calor melhor que os líquidos, e os líquidos melhor que os gases. Isto se explica pela diferença de estrutura molecular. As moléculas de um gás se encontram muito separadas, e a transferência de calor por condução, de molécula a molécula, torna-se difícil.

Convecção térmica

A transferência de calor por convecção ocorre quando há movimento de calor de um lugar para outro, por meio de correntes que se estabelecem dentro de um meio fluido. Estas correntes são conhecidas como *correntes de convecção*, e a movimentação das diferentes partes do fluido ocorre pela diferença de densidade que surge em virtude do aquecimento ou resfriamento do mesmo.

Ao se aquecer um recipiente contendo água, a sua temperatura aumenta e se dilata; isto é, aumenta o seu volume por unidade de peso. Assim, as porções mais quentes das regiões inferiores, tendo sua densidade diminuída, sobem, e as porções mais frias da região superior, tendo maior densidade, descem.

As porções mais frias da água descem para substituir as mais rápidas, que se elevam.

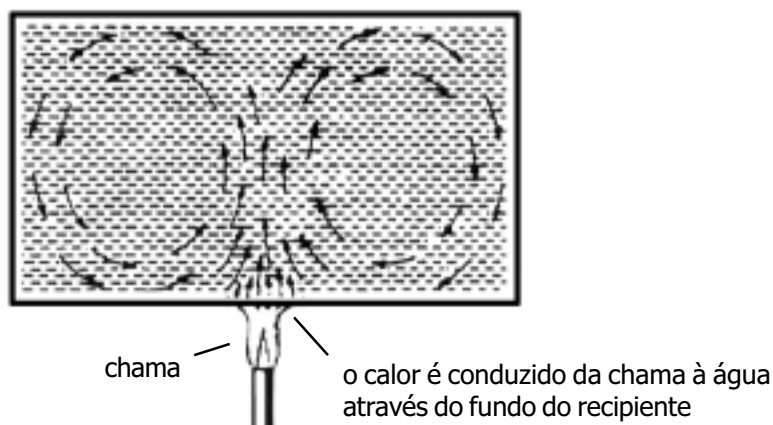


Fig. 8 - Correntes de convecção num líquido em aquecimento



As porções quentes da “água” se tornam mais rápidas subindo à superfície, distribuindo-se, assim, o calor em toda a massa.

Algumas aplicações e consequências da convecção térmica

a. Aquecimento de ambiente

O aquecimento de ambiente em edifícios pode ser efetuado através de trocas de calor entre o ar e a água quente ou vapor circulando por dentro dos tubos de trocadores de calor, também conhecidos como convectores.

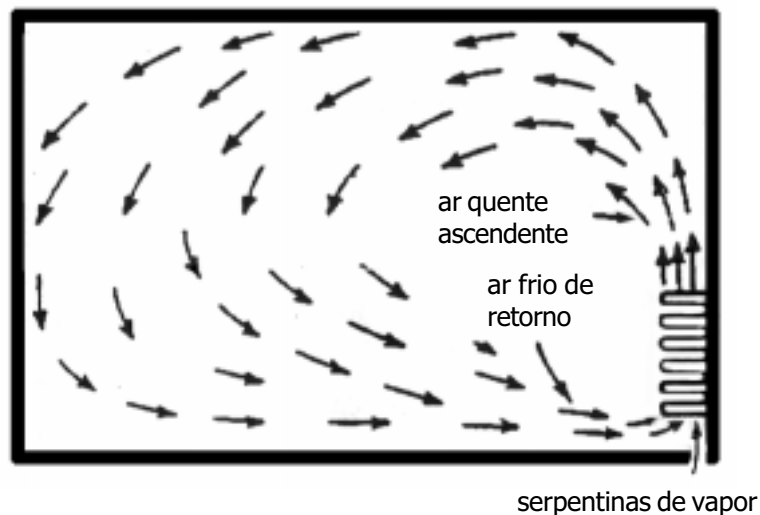


Fig. 9 - Ambiente aquecido por convecção natural

b. Radiador de automóveis

A água quente aquecida pelo motor, sendo menos densa, sobe; a água mais fria da parte superior desce. Em alguns automóveis, a convecção é forçada por uma bomba d'água.

c. Resfriamento

Quando um ambiente é resfriado, esse resfriamento é feito pela parte superior porque o fluido frio tende a descer. Por isso, o congelador de uma geladeira é colocado na parte superior. Pela mesma razão, ao se fazer o resfriamento de um barril de chope, o gelo é colocado sobre ele.



Irradiação térmica

O calor do Sol chega à Terra, sendo que a maior parte do percurso se faz no espaço vazio ou vácuo, onde não há meio material para permitir a condução ou convecção. Desta forma, **irradiação** é a propagação de calor de um corpo quente a um corpo frio, por um processo que ocorre em um meio intermediário que **não** se aquece.

A irradiação térmica efetua-se através de ondas eletromagnéticas denominadas ondas caloríficas ou de calor radiante, onde predominam os raios infra-vermelhos.

Se colocarmos a mão sob uma lâmpada acesa, sem tocá-la, teremos sensação de calor. Como o ar é mau condutor térmico, praticamente não ocorre condução. Também não há convecção, porque o ar quente sobe. Então, o calor que recebemos só pode nos ter atingido, admitindo-se que ondas se propagaram da lâmpada até nossa mão.

Poderíamos classificar as fontes de calor como *calor luminoso* e *calor obscuro*.

O **calor luminoso** é que vem acompanhado de luz (sol e lâmpadas incandescentes).

O **calor obscuro** não vem acompanhado de luz (forno, ferro de passar e resistências).

A quantidade de energia radiante que passa por um material depende do seu grau de transparência. Um material altamente transparente, por exemplo o cristal, permite que a maior parte da energia radiante passe; enquanto que os materiais opacos, como a madeira e o metal, não podem ser penetrados por ondas de energia radiante.

A incidência do calor radiante sobre a superfície de um corpo pode ser parcialmente absorvida, refletida e transmitida, dependendo da natureza da superfície do material, isto é, da textura e da cor. Os materiais com superfícies de cores claras ou polidas, por exemplo espelhos, refletem praticamente toda energia que neles incide, enquanto que os materiais com superfícies rugosas, opacas ou escuras absorvem maior quantidade de energia radiante.

Definindo:

- **corpo negro** é o um corpo ideal com índice de absorvidade igual a 1 (100%) e refletividade nula;
- **espelho ideal** é aquele que reflete totalmente a energia radiante que nele incide, tendo absorvidade nula e refletividade igual a 1 (100%).

No verão, usam-se de preferência roupas brancas ou claras, a fim de refletir o calor radiante.

Em determinadas condições de pressão e temperaturas, uma substância pode passar de uma fase para outra, ocorrendo, então, uma mudança de fase ou mudança do estado de agregação. As mudanças de fases possíveis a partir das fases básicas (sólida, líquida e gasosa) são **fusão**, **solidificação**, **vaporização** e **condensação**.

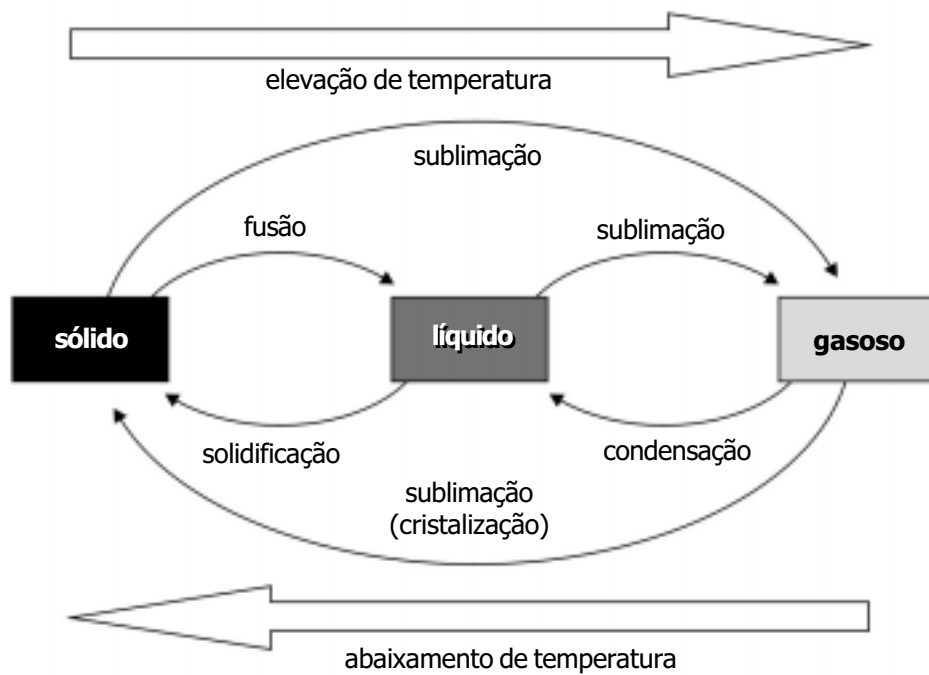
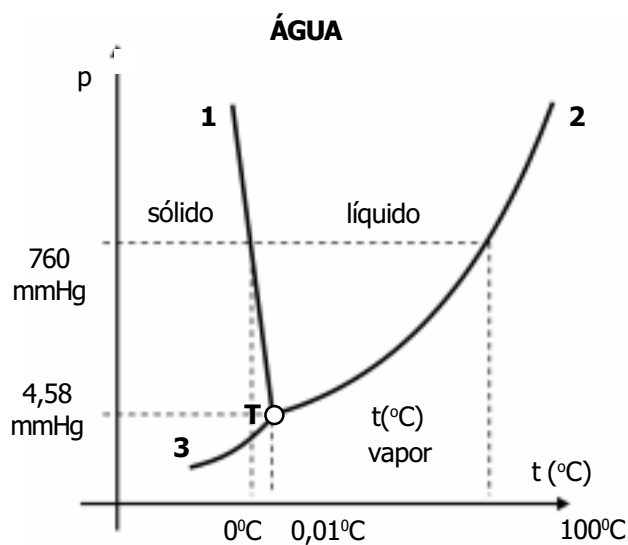


Fig. 10

Diagrama de fases

A fase em que uma substância se encontra depende de suas condições de pressão e temperatura, podendo estar também num estado que corresponda ao equilíbrio entre as duas fases ou mesmo entre as três fases.

Representando-se diferentes estados da substância no gráfico Pressão x Temperatura, obtemos o denominado Diagrama de Fases da substância.



T - ponto triplo ou tríplice

1 - curva de fusão

2 - curva de vaporização

3 - curva de sublimação

Fig. 11



O estado representado pelo ponto comum às três curvas é denominado **ponto triplo** ou **tríplice**. Assim, sob pressão de 4,58 mmHg e temperatura de 0,01 °C, podemos obter para a água um sistema constituído por gelo, água em estado líquido e vapor d'água em equilíbrio.

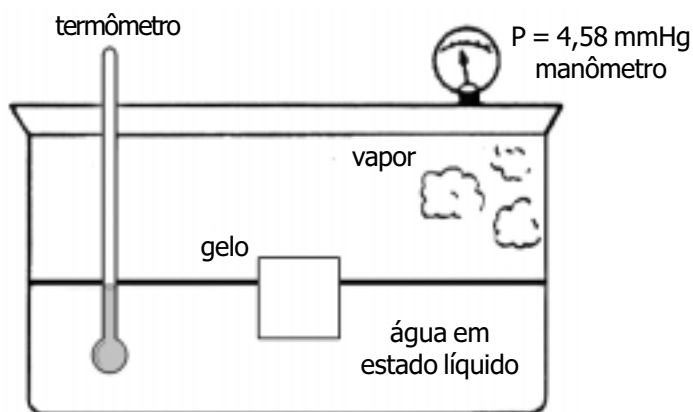


Fig. 12 - Gelo, água em estado líquido e vapor d'água em equilíbrio

O diagrama de fases é constituído de três curvas figurativas dos estados de equilíbrio da substância:

- equilíbrio sólido líquido = Curva de Fusão
- equilíbrio líquido vapor = Curva de Vaporização
- equilíbrio sólido vapor = Curva de Sublimação

Equilíbrio sólido-líquido

Fusão e solidificação

Se aquecermos um sólido cristalino sob pressão constante, superior ao ponto triplo, ele sofre **fusão** a uma temperatura t_F , a qual permanece constante durante o processo.

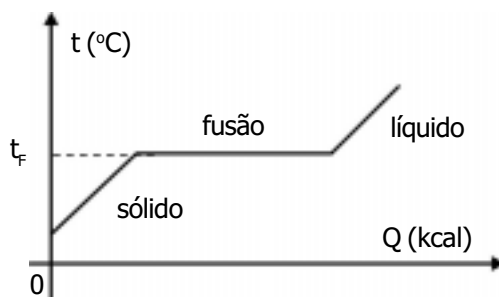


Fig. 13 - Aquecimento de um corpo inicialmente sólido



O calor absorvido por unidade de massa, enquanto o corpo funde, constitui o *calor latente de fusão*.

Quando um líquido é resfriado sob pressão constante, ele sofre *solidificação* à mesma temperatura na qual o sólido se funde.

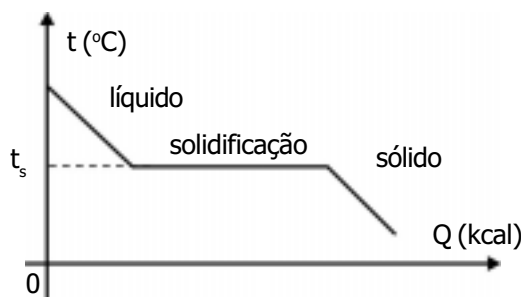


Fig. 14 - Resfriamento de um corpo inicialmente líquido

O calor perdido por unidade de massa, enquanto o líquido se solidifica, é o *calor latente de solidificação*.

Equilíbrio líquido vapor

Ebulição e Condensação

Se aquecermos uma substância pura na fase líquida, sob pressão constante, ela ferve, isto é, sofre ebulição numa temperatura T_v , que permanece constante durante o processo.

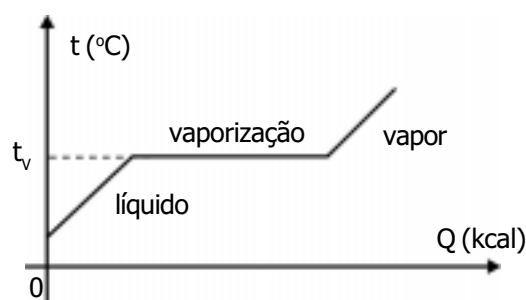


Fig. 15 - Aquecimento de um corpo inicialmente líquido

O calor que o líquido absorve por unidade de massa, enquanto ferve, constitui o *calor latente de vaporização*. Se resfriarmos o vapor de uma substância pura, sob pressão constante, o mesmo se transforma em líquido, isto é, sofre **condensação** ou **liquefação** na mesma temperatura em que o líquido ferve.

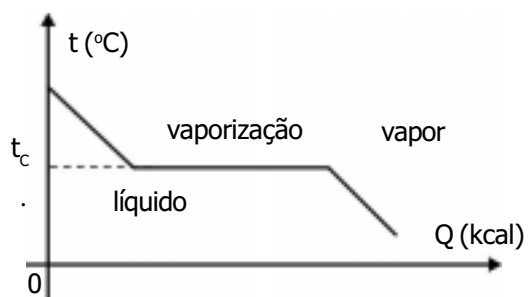


Fig. 16 - Resfriamento de um corpo inicialmente na fase de vapor

O calor perdido por unidade de massa durante a mudança de fase é o *calor latente de condensação*.

Tabela 1 - Relação entre temperatura de ebulição x pressão



A temperatura de ebulição de um líquido depende da pressão exercida sobre o mesmo.

Temperatura (°C)	Polegadas de mercúrio	Libra./pol²	Mícrons*
100	29,92	14,696	756.968
96	25,00	12,279	635.000
90	20,69	10,162	525.526
80	13,98	6,866	355.092
70	9,20	4,519	233.680
60	5,88	2,888	149.352
50	3,64	1,788	92.456
40	2,17	1,066	55.118
30	1,25	0,614	35.560
26,7	1,00	0,491	25.400
24,4	0,90	0,442	22.860
22,2	0,80	0,393	20.320
20,6	0,70	0,344	17.780
17,8	0,60	0,295	15.240
15,0	0,50	0,246	12.700
11,7	0,40	0,196	10.160
7,2	0,30	0,147	7.620
0	0,18	0,088	4.572
- 6,1	0,10	0,049	2.540
-14,4	0,05	0,0245	1.270
- 31	0,01	0,0049	254
-37	0,005	0,00245	127
-51	0,001	0,00049	25,4
-57	0,0005	0,00024	12,7
-68	0,0001	0,00049	2,54

* Mícrons

1" = 2,54 cm = 25,4 mm = 2.540 mícrons

0,1" = 0,254 cm = 2,54 mm = 2.540 mícrons

0,39" = 0,1 cm = 1 mm = 1.000 mícrons



Para qualquer substância, se a pressão externa aumentar, o líquido ferverá numa temperatura mais elevada. A água, em particular, ferve a 100 °C ao nível do mar, onde a pressão atmosférica é normal (1 atm).

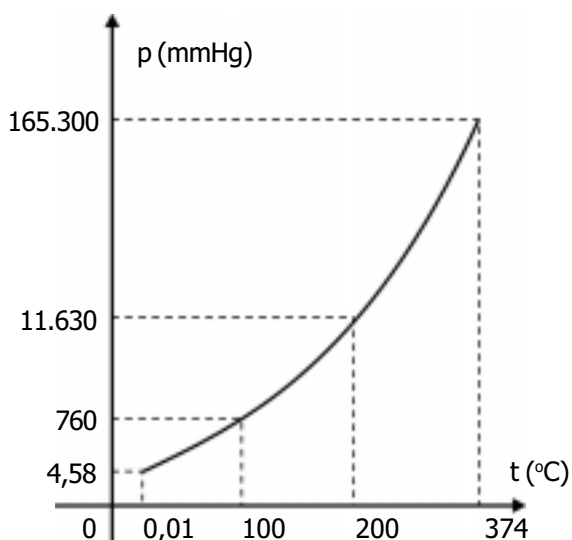


Fig. 17 - Curva de vaporização da água

Em maiores altitudes, a ebulição da água ocorre em temperaturas mais baixas, porque a pressão atmosférica é menor.

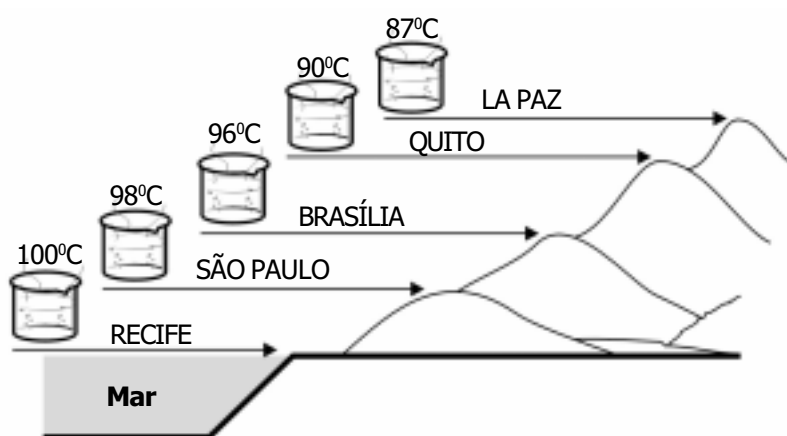


Fig. 18

A temperatura de ebulição de uma substância depende da altitude.



Equilíbrio sólido – vapor

Sublimação

Se um sólido cristalino for aquecido sob pressão constante, inferior à pressão do ponto triplo, ele sofre sublimação, numa temperatura t_s , que permanece constante durante o processo.

Ex : lodo e gelo seco

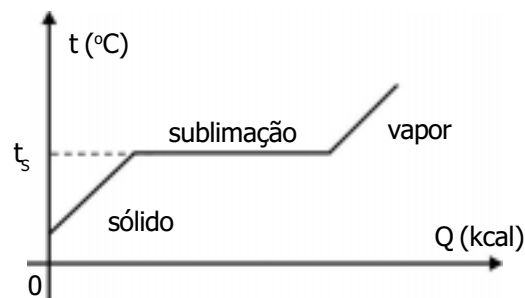


Fig. 19 - Aquecimento de um corpo inicialmente sólido

Se, sob a mesma pressão, o vapor da substância for resfriado, ele se transforma em sólido, sofrendo **sublimação** ou **cristalização** à mesma temperatura em que ocorreu o processo anterior.

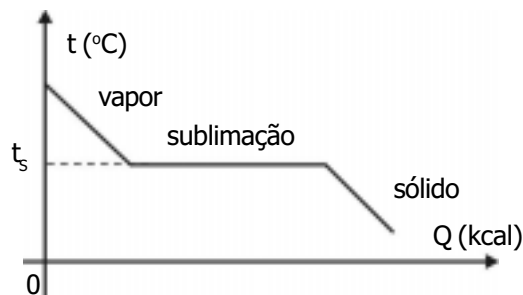


Fig. 20

O vapor, ao ser resfriado, se cristaliza à temperatura t_s .

Ao se aquecer iodo cristalino em um recipiente, verificamos que o mesmo passa diretamente para a fase de vapor à temperatura de 185,3 °C. Se, acima do recipiente de onde saem os vapores de iodo, colocarmos uma superfície fria, notaremos a formação de cristais de iodo sobre a mesma, pois os vapores cristalizam-se ao entrarem em contato com a superfície.

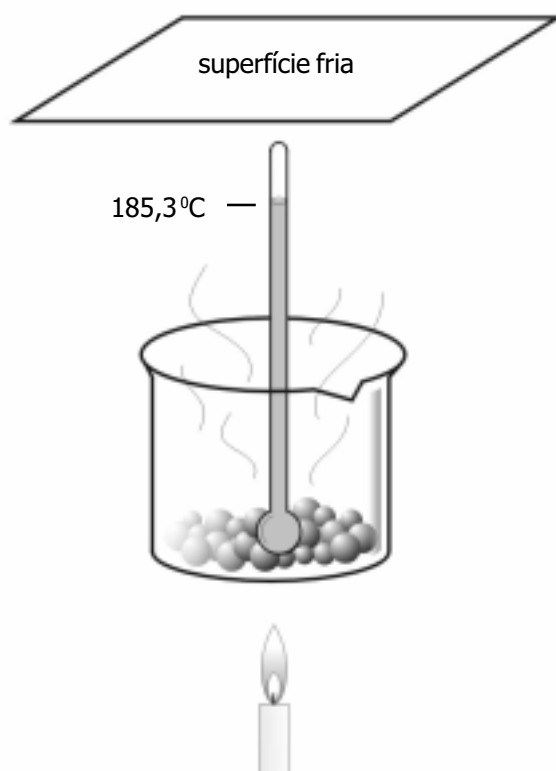


Fig. 21 - Sublimação e cristalização do iodo

Conceitos sobre substâncias puras e mudanças de fase

Temperatura de saturação

Ao se elevar a temperatura de um líquido, parte dele se transforma em vapor. A temperatura do líquido nessa condição é denominada **temperatura de saturação**.

Vapor saturado

É o vapor produzido por um líquido em vaporização, desde que se encontre nas mesmas condições de pressão e temperatura do líquido saturado do qual provem.

Pode-se definir, também, *vapor saturado* como *vapor à temperatura*, de maneira que qualquer resfriamento faça com que o mesmo se condense e tome a estrutura molecular do estado líquido.

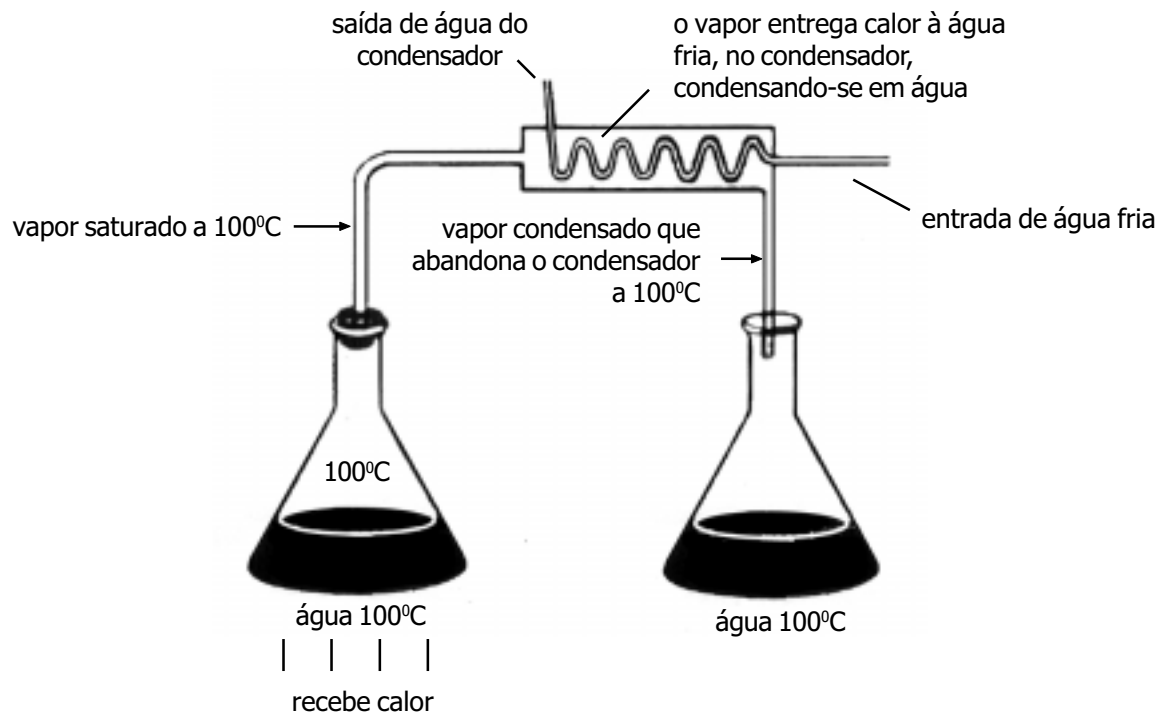


Fig. 22 - Vapor saturado

Vapor superaquecido

Vapor superaquecido é um vapor que se encontra a qualquer temperatura acima da saturação. Se, após a vaporização, se aquece o vapor, de maneira que sua temperatura seja acima da temperatura do líquido em vaporização, diz-se que o vapor está *superaquecido*.

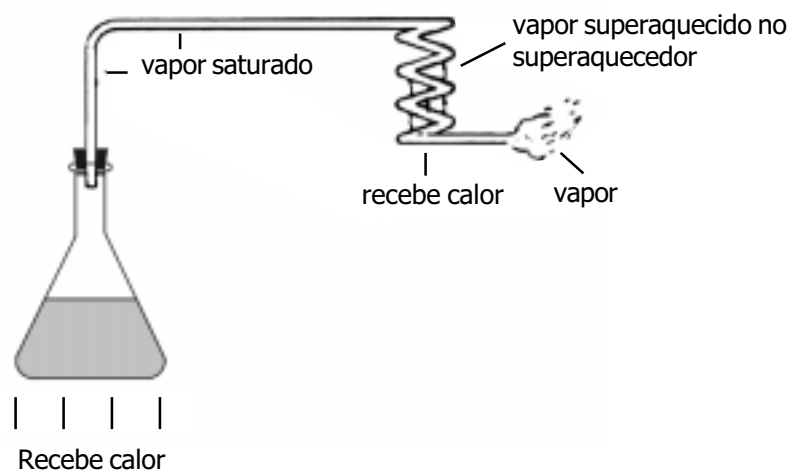


Fig. 23 - Vapor superaquecido



Líquido sub-resfriado

Se, após a condensação, o líquido é resfriado, de maneira que sua temperatura se reduza abaixo da temperatura de saturação, diz-se que o líquido se *sub-resfria*. Assim, um líquido, a qualquer temperatura inferior à da saturação e acima do ponto de fusão, é um *líquido sub-resfriado*.

Compartimento anômalo da água

Aquecendo certa massa de água de 0°C até 100°C , nota-se que de 0°C a 4°C o volume diminui e a partir de 4°C o volume aumenta.

Trata-se de um comportamento excepcional da água, contraíndo-se quando aquecida de 0°C a 4°C .

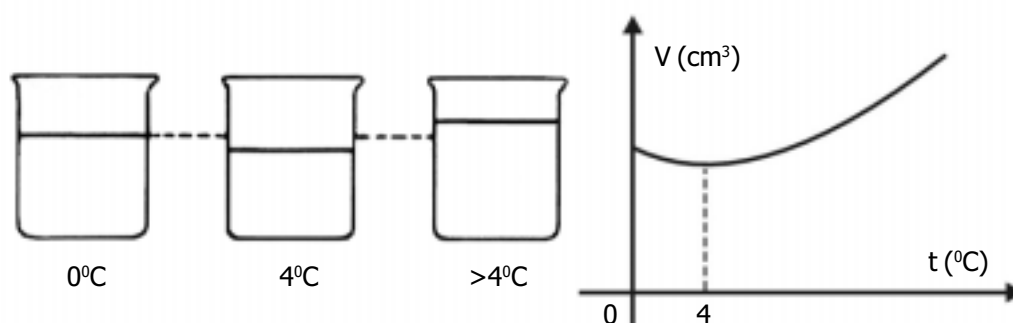


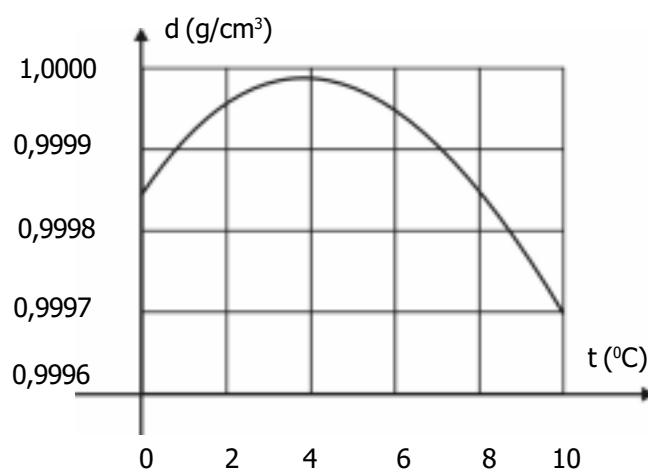
Fig. 24 - A 4°C a massa da água se contrai.

A densidade de uma substância varia inversamente com o volume. Portanto:

de 0°C a 4°C – *volume diminui/densidade aumenta*;

acima de 4°C – *volume aumenta/densidade diminui*.

Sendo o volume da água mínimo a 4°C , nesta temperatura a água apresenta densidade máxima, que corresponde a $0,99997\text{ kg/l}$ e ocorre rigorosamente a uma temperatura de $3,98^{\circ}\text{C}$.



vapor superaquecido

Fig. 25 - Gráfico e variações da densidade da água

Tabela 2 - Equivalências

Para converter de	para:	multiplique por:
kcal	kg	4,186
kcal	btu	4
kcal	kgm	427
kcal/kg	btu/lb	1,8
kwh	btu	3,413
kwh	kcal	860
kw	HP	1,341
cv	HP	0,9863
cv	kw	0,7355
kgm	btu	$9,294 \times 10^{-3}$
kgm	J	9,807
TR	btu/h	12.000
TR	kcal/h	3.024



TR - Tonelada de refrigeração

É a unidade de quantidade de calor mais comumente utilizada em ar condicionado. É um termo introduzido pelos americanos: **tonelada de refrigeração** é a quantidade de calor necessária para fundir 2.000 libras de gelo em 24 horas.

Demonstração:

Sabe-se que a quantidade de calor necessária para fundir o gelo é dada pela fórmula:

$$Q = mL$$

onde:

Q = quantidade de calor (btu)

m = massa do gelo (2.000 lb)

L = calor latente de fusão do gelo (144 btu/lb)

$$Q = 2.000\text{lb} \times \frac{144 \text{ btu}}{\text{lb}} = 288.000 \text{ btu}$$

$$\text{TR} = \frac{Q}{24 \text{ h}} = \frac{288.000 \text{ btu}}{24 \text{ h}} = \frac{12.000 \text{ btu}}{\text{h}}$$

$$1 \text{ kcal} = 3.9685 \text{ btu}$$

Portanto:

$$1 \text{ TR} = 12.000 \text{ btu/h} = 3.024 \text{ kcal/h}$$

Alguns autores definem TR como sendo a quantidade de calor necessária para fundir uma tonelada de gelo em 24 horas.

No Sistema Métrico, sabemos que uma tonelada é igual a 1.000 kg e o calor latente de fusão do gelo é igual a 80 kcal/kg.



Teremos, portanto:

$$Q = 1.000 \text{ kg} \times 80 \text{ kcal} = 80.000 \text{ kcal}$$

$$\text{TR} = 80.000 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg}} = 3.024 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

A diferença constatada explica-se pelo fato de que o valor correto equivalente a 2.000 libras é de 907,18 kg.

Se utilizarmos este valor, teremos:

$$Q = 907.18 \text{ kg} \times 80 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 72.574,4 \text{ kcal}$$

$$\text{TR} = \frac{72.574,4}{24\text{h}} = 3.024 \text{ kcal/h}$$

$$\mathbf{1 \text{ TR} = 3.024 \text{ kcal/h} \quad 3.000 \text{ kcal/h}}$$

Preparação de tubos para uso em refrigeração



Na prática da refrigeração, em vários momentos, surge a necessidade de se unir componentes (compressor, evaporador, filtros, etc.). Essa interligação é feita através de tubos. As conexões poderão ser efetuadas por processo de flangeamento e/ou soldagem.

Normalmente, os tubos usados em refrigeração são de cobre, que é utilizado na proteção de outros metais oxidáveis, por meio de eletrólise. Esse processo reveste esses metais de uma camada protetora de cobre, por meio de corrente elétrica, num banho de ácido. Para uso industrial, o cobre se apresenta sob as formas de vergalhões, chapas, fios e tubos.

Os vergalhões e chapas são obtidos por laminação; os fios e os tubos, por trefilação. Esses processos de modificação de formas são aplicados ao cobre, ao aço e a outros materiais metálicos, em instalações caras e de grande produção.

Os vergalhões são indicados ou especificados comercialmente pelas medidas lineares da seção ou do perfil. Os fios e chapas o são por números padrões (FIEIRAS - conforme figura). Às vezes correspondem tabelas contendo os diâmetros (em milímetros ou polegadas) dos números dos fios e as espessuras dos números das chapas, também em milímetro ou polegadas. Finalmente, os tubos são especificados pelos diâmetros e espessuras das paredes.

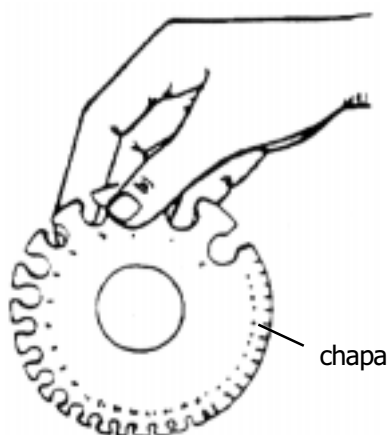


Fig. 1



O cobre, depois do aço e do ferro fundido, é o material metálico de maior uso na indústria, apresentando as seguintes características:

1. cor avermelhada;
2. massa específica: $8,9 \text{ g/cm}^3$, temperatura em que se funde: 1083°C ;
3. maleável, isto é, de fácil deformação, deixando-se laminar bem;
4. dúctil; facilmente se esteada em fios;
5. pouco duro;
6. pouco tenaz, isto é, resiste mal aos esforços de deformação lenta (torção, flexão, tração e compressão);
7. bom condutor de eletricidade. depois da prata, é o melhor condutor de corrente elétrica;
8. bom condutor de calor;
9. quando exposto ao ar úmido, oxida-se, cobrindo-se de uma camada esverdeada (azinhavre). Resiste, entretanto, muito bem à corrosão, quer pela água, quer por ácidos diluídos, tais como o ácido sulfúrico e o ácido clorídrico;
10. não se presta, quando isolado, a trabalhos de fundição. Suas ligas, entretanto, moldam-se muito bem;
11. quando sofre deformações freqüentes (martelagem, por exemplo), torna-se duro e quebradiço. Para que o cobre, em tal caso, recupere a maleabilidade, deve ser aquecido (recozido) e, em seguida, mergulhado em água fria.

Vantagens do uso do cobre

- Por ser maleável e bom condutor de calor, presta-se bem à construção de caldeiras, tachos e, em geral, tanques e tubulações de vapor e de água quente.
- Por ser dúctil, maleável e bom condutor de eletricidade, tem variado emprego na fabricação de fios, chapas, contatos, barras, parafusos e peças diversas para usos da eletricidade, na telegrafia e na telefonia.
- Por sua resistência à corrosão é, em algumas regiões, usado em calhas, condutores e até na cobertura de certas partes de prédios.

Flangeamento de tubos

Dados os cuidados com os tubos de refrigeração, a sua preparação requer o uso de ferramentas especiais que propiciem um perfeito acabamento com total vedação.



Cortador de tubos

É a ferramenta que permite ao mecânico de refrigeração cortar tubos de cobre para a realização das operações de substituição dos componentes ou emenda de tubos.

- O cortador de tubos de cobre é constituído em duralumínio e aço, o que possibilita sua forma compacta, facilitando o seu manuseio.



Fig. 2

- Alguns cortadores já dispõem de escareador.

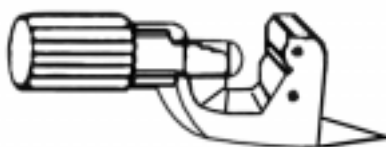


Fig. 3

- Outros, para tubos mais largos, dispõem de duas roldanas e lâmina de corte de maior diâmetro.



Fig. 4



Em qualquer circunstância, é necessário escarear o tubo pois, durante o corte, é formada rebarba em sua extremidade interna, o que dificulta a introdução do alargador.

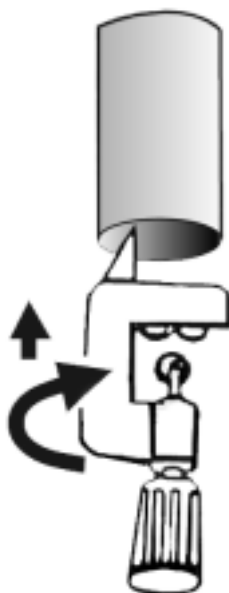


Fig. 5

Alargador

É uma ferramenta usada em mecânica de refrigeração, que permite a montagem de dois tubos com o mesmo diâmetro. Uma das extremidades de um tubo é alargada pela ferramenta, até atingir o diâmetro externo de outro tubo.

Tipos

Existem três tipos de alargadores de tubo:

- de impacto;
- de expansão;
- de repuxo.

Alargador de impacto

É o tipo mais comum e seu uso requer que o tubo seja fixado no estampo.

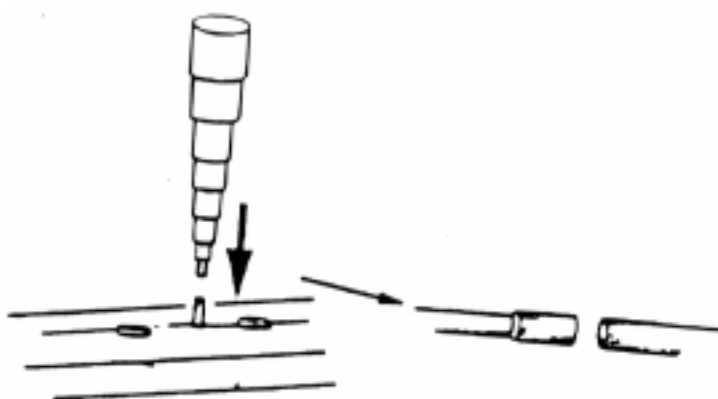


Fig. 6

Alargador de expansão

É o mais prático e o mais perfeito. Seu funcionamento consiste no encaixe do mandril ao tubo a ser expandido e no acionamento da alavanca.

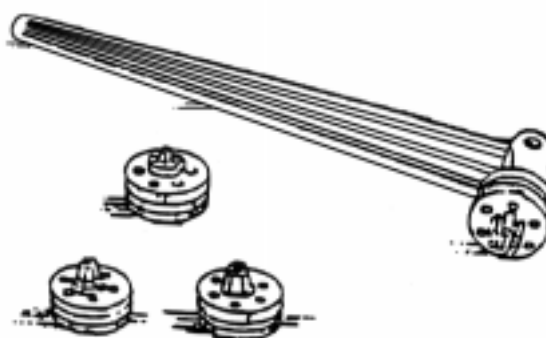


Fig. 7

Alargador de repuxo

Só usado em casos especiais, pois depende de uma máquina de furar, de coluna.

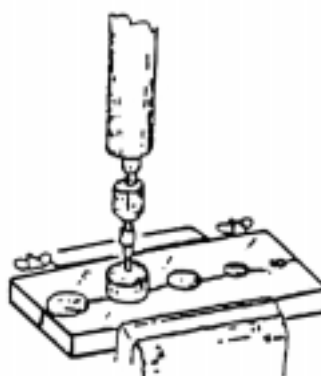


Fig. 8



Flangeador

Flangeador é uma ferramenta que permite ao mecânico dar forma ao tubo para que, ao ser aplicado, possa ser feita uma vedação completa na colocação de uniões da tubulação, em válvulas, registros, etc.

O flangeador é composto de base (estampo) e um grampo contendo um parafuso rosqueado com seu corpo. Na extremidade do parafuso encontra-se uma ponta cônica giratória. Esta, ao ser encaixada, permite o giro do parafuso, sem que haja atrito no tubo a ser flangeado.

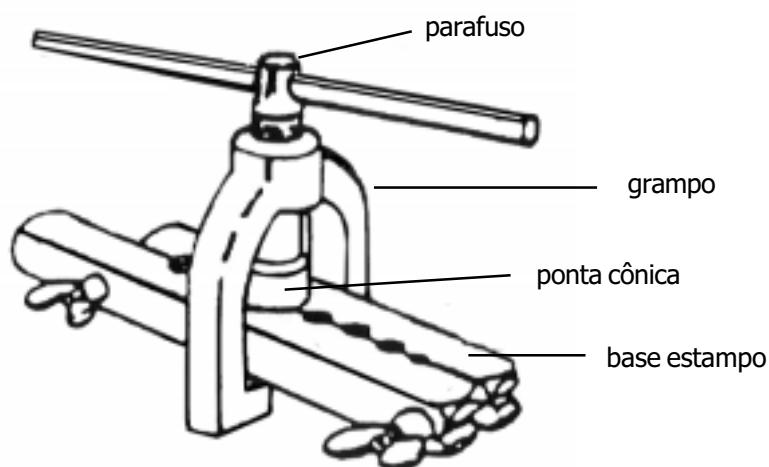


Fig. 9

O bom flangeamento depende das condições do tubo e do flangeador, sendo necessário que os dois estejam em bom estado.



Fig. 10

Procedimentos para alargar e flangear tubos de cobre

Alargar o tubo é aumentar o seu diâmetro, para permitir que as emendas de tubos sejam feitas com segurança tanto pelo processo de solda como pelo de conexões.



Roteiro – PREPARAÇÃO PARA FLANGEAR TUBO

CASO I

1. Corte o tubo e escareie, usando um cortador de tubo.

- a. Monte o cortador no tubo.
- b. Aperte ligeiramente a lâmina ao tubo e gire o cortador, repetindo a operação até que o tubo fique cortado.

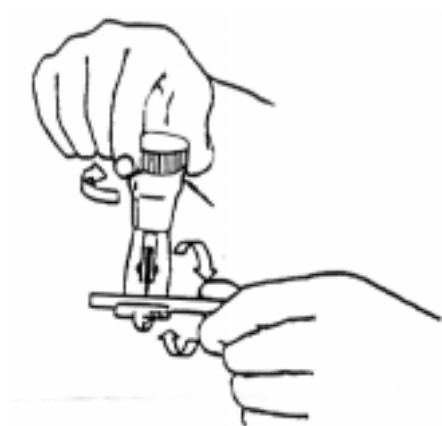


Fig. 11

- c. Escareie o tubo com ferramenta própria e gire o escareador apontado, depois, no tubo.

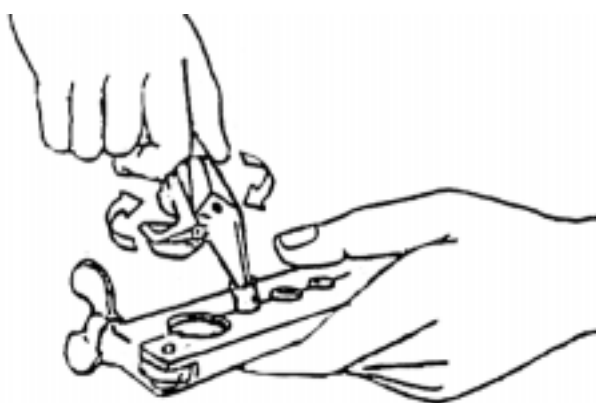


Fig. 12

2. Flangeie o tubo.

- a. Selecione o furo de acordo com o seu diâmetro e prenda-o ao suporte do flangeador.

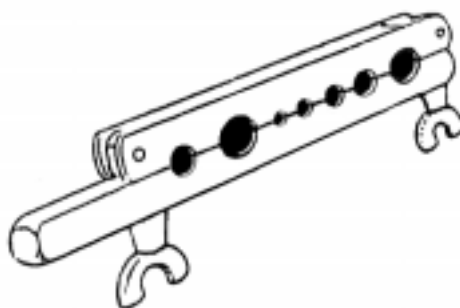


Fig. 13

Observação

A altura que fica fora do suporte é proporcional ao flange e ao diâmetro do tubo.

b. Monte o expansor no suporte e aperte, até que o flange fique preso entre o expansor e o suporte.

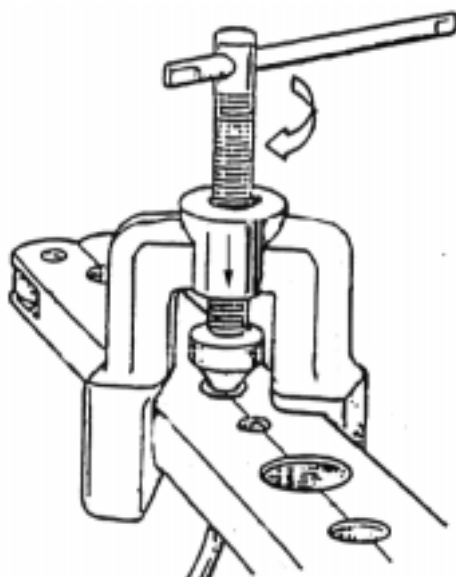


Fig. 14

Observação

Existem outros tipos de flangeadores de tubos, porém o mais usado em refrigeração é o modelo mostrado.



Roteiro – PREPARAÇÃO PARA ALARGAR TUBOS

1. Corte o tubo e escareie, usando um cortador de tubo, conforme procedimentos na tarefa anterior. Em seguida, alargue a extremidade do tubo.

- a. Selecione o furo do suporte e prenda o tubo.
- b. Introduza o alargador no tubo.



Fig. 15

- c. Bata com o martelo sobre o alargador.
- d. Gire o alargador entre cada martelada.



Fig. 16



CASO II

Roteiro – CORTE DE TUBOS CAPILARES

1. Faça uma marca em volta do tubo usando lima-faca-murça, e seccione-o, flexionando-o com movimentos alternativos.



Fig. 17



Fig. 18

Procedimentos para soldagem



Gases

São elementos químicos utilizados para produzir a combustão nos processos de soldagem e de cortes.

Os gases responsáveis pela combustão são:

- oxigênio;
- acetileno.

O processo de solda utilizado para soldagem de tubos é por oxiacetileno.

Partes do equipamento de soldagem oxiacetilênica

Cilindro

É um recipiente especial para armazenar gases. Para a soldagem oxiacetilênica, serão utilizados dois cilindros: um para armazenar o oxigênio; outro, para armazenar o acetileno.

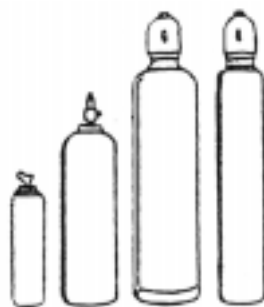


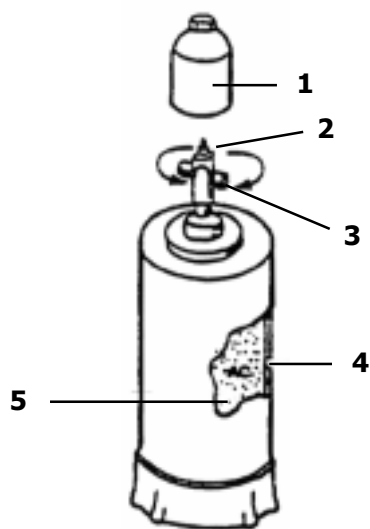
Fig. 1



Tipos de cilindros para os referidos gases: seus *tamanhos e capacidades*.

Cilindro para Acetileno

O cilindro para acetileno é um recipiente de aço, sem costuras e o seu interior está cheio de uma massa porosa, embebida em acetona.



- | |
|-----------------------------|
| 1. tampa da válvula |
| 2. válvula de segurança |
| 3. saída de rosca esquerda |
| 4. parede grossa |
| 5. massa porosa com acetona |

Fig. 2

A massa porosa, existente no interior, embebida em acetona, tem a finalidade de dissolver grandes proporções de acetileno, evitando que a pressão no interior do cilindro se torne excessiva.

Lembre-se de que o acetileno queima e, como qualquer outro gás combustível, forma com o ar uma mistura explosiva. Por isto, devem ser tomados os seguintes cuidados:

1. Não transporte o cilindro deitado.
2. Guarde-o e use-o com a válvula de segurança para cima.
3. Guarde o cilindro em local:
 - protegido;
 - ventilado;
 - seco;
 - afastado de material combustível;
 - afastado da fonte de calor.

O cilindro deverá ser manuseado com cuidado, evitando-se quedas e batidas, para que **não** ocorram explosões.

**Observação**

Lembre-se de que o oxigênio ajuda a queima dos gases combustíveis.

Por isto, devem ser tomados os seguintes cuidados com o cilindro de oxigênio.

1. Guarde o cilindro em local afastado de:

- óleos;
- graxas;
- quaisquer substâncias combustíveis.



Fig. 3

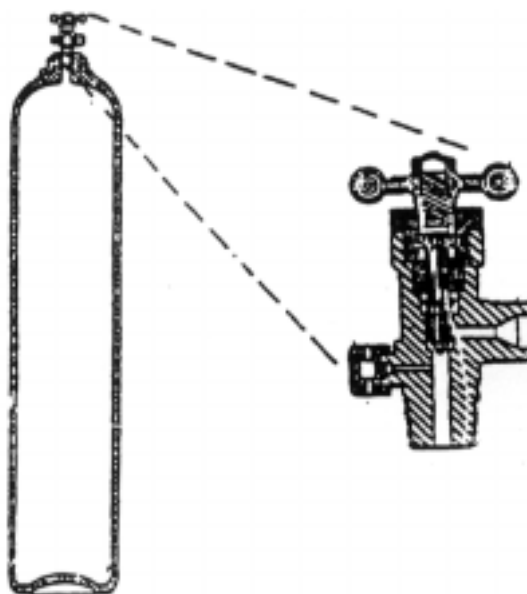
2. Conserve o cilindro longe de qualquer contato elétrico

Fig. 4



Cilindro para oxigênio

Cilindro para *oxigênio* é um recipiente alongado, de aço bastante resistente (forjado) e sem costura.

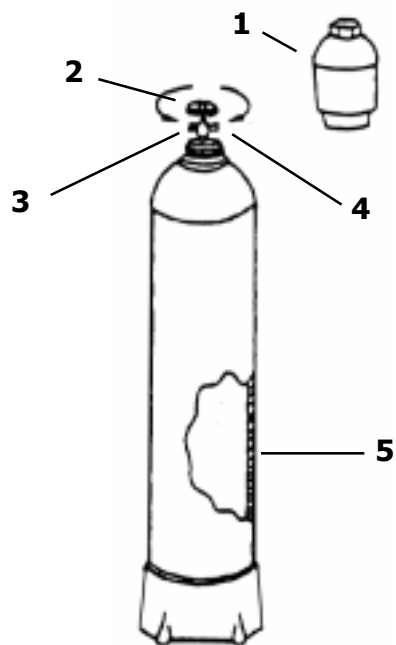


Fig. 5

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">1. tampa da válvula de oxigênio2. volante de ajuste3. válvula de segurança4. saída da rosca direta5. parede grossa |
|--|

Maçarico

É um aparelho que permite obter a chama através de uma temperatura muito elevada, pela combustão de um gás combustível com o oxigênio.

Existem dois tipos de maçaricos:

- de solda;
- de corte (de baixa pressão).

Maçarico de solda

O maçarico de solda é um aparelho que faz parte do equipamento.

Maçarico de baixa pressão

É aquele em que é utilizado o acetileno, a uma pressão ligeiramente superior à pressão da atmosfera. Ele é usado em trabalhos mais leves e em metais, como cobre e chumbo.



Partes componentes

A. Corpo

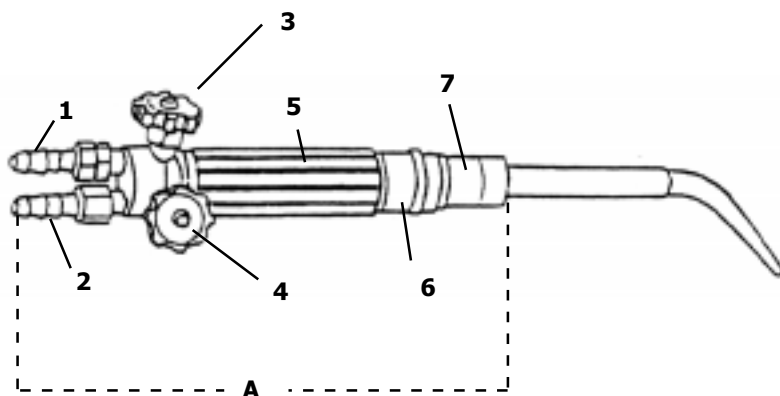


Fig. 6

1. conector da mangueira do acetileno
2. conector da mangueira do oxigênio
3. registro do acetileno
4. registro do oxigênio
5. punho
6. porca de fixação
7. misturador

Neste tipo de maçarico, o acetileno não chega até ele com a pressão necessária para uma boa soldagem. Então, o acetileno é aspirado pelo oxigênio por meio do injetor, que está adaptado na parte interna do misturador.

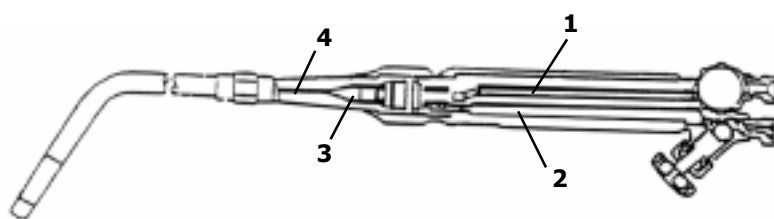


Fig. 7

1. passagem do oxigênio
2. passagem do acetileno
3. injetor
4. gases misturados

Observe, ainda, na figura abaixo, o injetor ampliado.

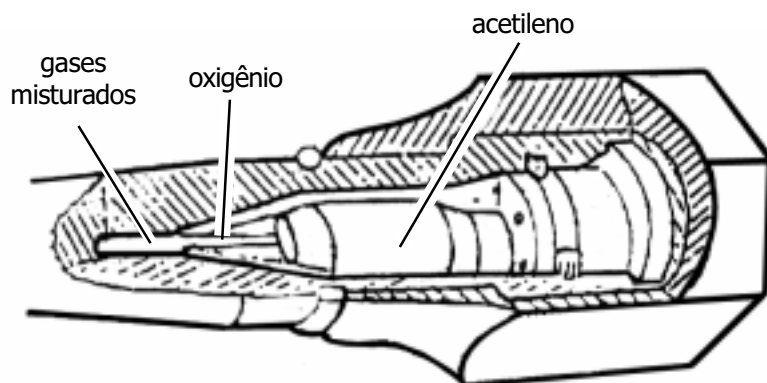


Fig. 8



O oxigênio aspira a quantidade necessária de acetileno e ambos os gases, completamente misturados, saem do maçarico com suficiente pressão, para que a combustão desejada para a soldagem se produza.

Com o maçarico de baixa pressão também se pode efetuar soldagens à pressão média.

B. Bico

O bico é a parte do maçarico que permite a saída da chama. Apresenta as seguintes características:

- É fabricado de cobre.
- Possui um orifício para a saída de chamas.
- É encontrado em diversos tamanhos.

O bico é selecionado pelo seu número. Para tal seleção, deve se conhecer, primeiramente, a espessura do material a ser soldado. A espessura do material deve ser medida em milímetros.

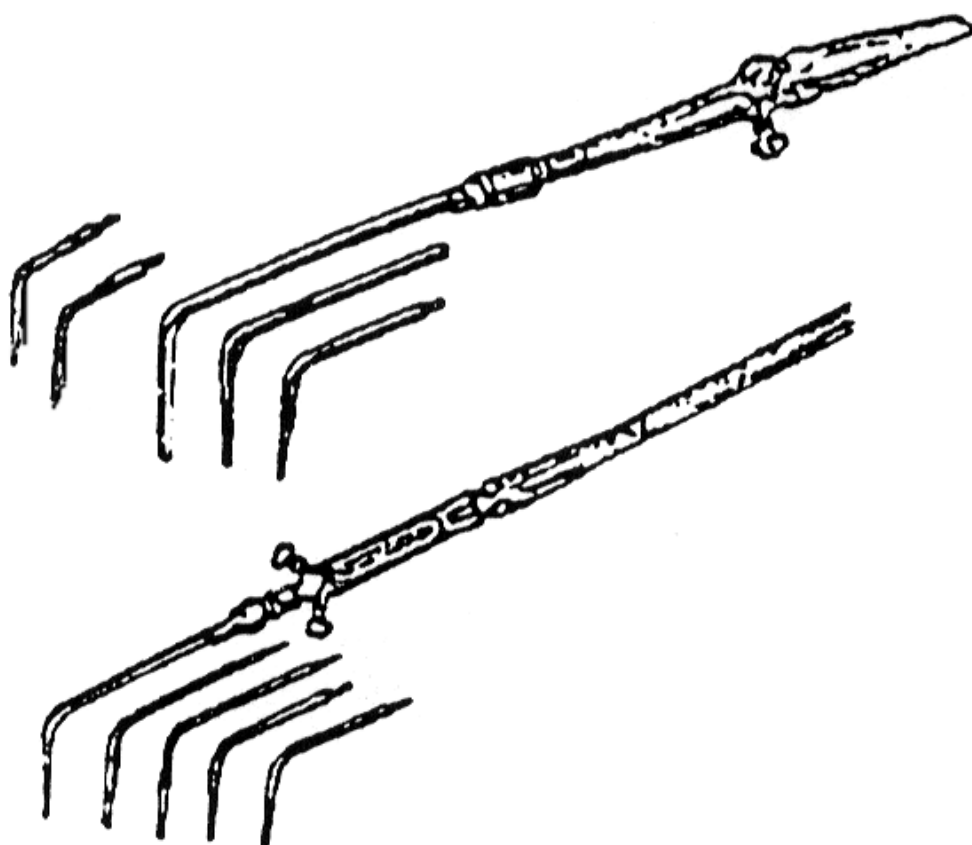


Fig. 9



Para selecionar o bico, leva-se em consideração a espessura do material a ser cortado, para a seguinte tabela:

Tabela 3 - Seleção do bico

Espessura do metal em mm	Pressão oxigênio em kg/cm ²	Pressão acetileno em kg/cm ²	Pressão propano em kg/cm ²	Número e marca de bicos		
				Harris	Oxweld	Airco
3,17	2,46	0,14	0,14	00		
4,76 – 9,52	1,75 – 2,24	0,21 – 0,24	0,21 – 0,35	00 – 0	3	0 – 1
12,70 – 22,22	2,10 – 3,51	0,21 – 0,35	0,21 – 0,42	1	4	1 – 2
25,40 – 38,10	2,46 – 3,51	0,2 – 0,42	0,28 – 0,56	1	6	2
50,80	3,16	0,35	0,56	2	8	3
76,2	2,81	0,42	0,56	3-4	8	4 – 5
101,60 – 152,4	2,81 – 3,86	0,42 – 0,56	0,42 – 0,63		8	5 – 6
177,80 – 203,20	3,51 – 3,86	0,42 – 0,56	0,42 – 0,63		10	
228,60 – 304,80	3,86 – 4,92	0,56 – 0,70	0,49 – 0,70		12	
330,20 – 406,40	5,62 – 6,32	0,70 – 0,84	0,49 – 0,70			

Observação

Esta tabela está sujeita às especificações do fabricante. Só foram levados em consideração os modelos comuns de bicos, que possuem tipos equivalentes em outras marcas não apresentadas.

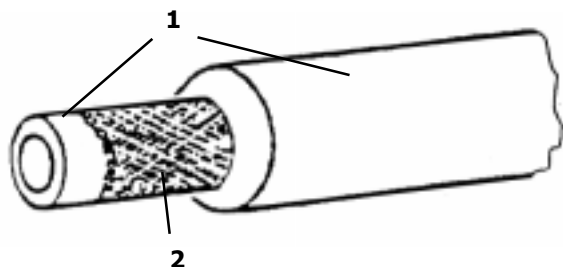
Analisando a tabela apresentada para selecionar o bico para cortar o metal, temos:

1. espessura do material em mm;
2. pressão do oxigênio em kg por cm² ;
3. pressão do acetileno em kg por cm²;
4. pressão do propano em kg por cm²;
5. número e marca de bicos.



Mangueira

É um tubo flexível, oco, de forma cilíndrica, destinada ao transporte de líquidos, de ar e de gases.



- | |
|----------------------------------|
| 1. borracha natural ou sintética |
| 2. tecido de nylon |

Fig. 10

A mangueira para o equipamento oxiacetilênico tem a finalidade de transportar os gases para o maçarico. Há dois tipos: a de *oxigênio* e a de *acetileno*, identificadas pelas cores que apresentam.

Mangueira para oxigênio

As cores que identificam a mangueira para oxigênio são o azul, o verde ou o preto. O diâmetro interior pode ter: 4 mm, 6 mm e 9 mm.

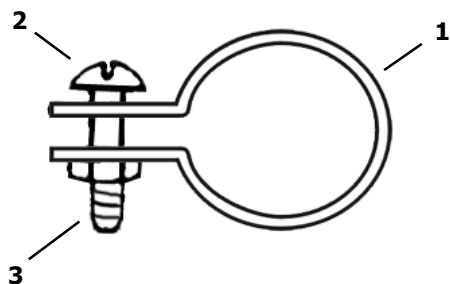
Mangueira para acetileno

A cor que identifica a mangueira para acetileno é o *vermelho*. O diâmetro interior pode ter 4 mm, 6 mm e 9 mm. Comumente, utilizam-se as mangueiras de 6 mm de diâmetro interno.

Peças utilizadas para fixar as mangueiras

• Braçadeira

É uma peça usada para unir e prender as mangueiras. Ela é apertada por um parafuso e uma porca, sendo que seu diâmetro deve estar de acordo com o das mangueiras.



- | |
|---------------|
| 1. braçadeira |
| 2. parafuso |
| 3. porca |

Fig. 11



Observe, nas figuras abaixo, o uso da braçadeira.

- Braçadeira usada para unir as mangueiras de oxigênio e acetileno, para que elas não se separem.

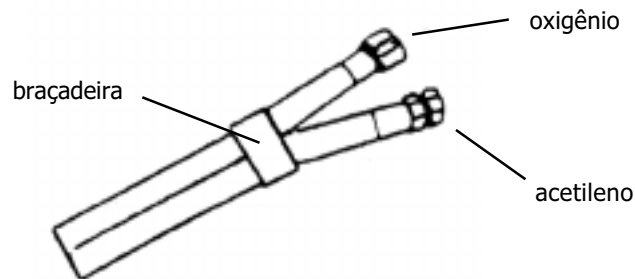


Fig. 12

- Braçadeira usada para prender as mangueiras no regulador de pressão e também no maçarico, para que elas não se soltem.

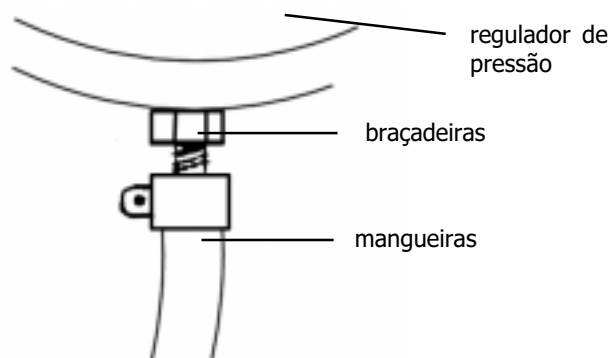


Fig. 13

• Agulhas do maçarico

É um instrumento de limpeza. Tem a finalidade de desobstruir os orifícios dos bicos a serem usados. Existem diversas espessuras de agulhas. A desobstrução e a limpeza dos orifícios dos bicos devem ser feitas com a agulha que se adapte aos orifícios.

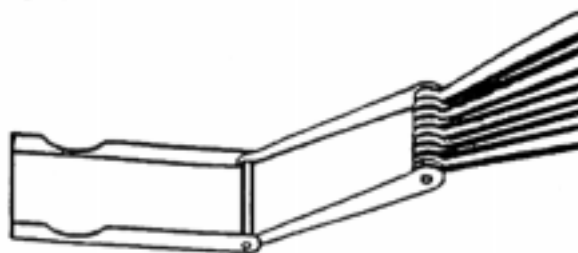


Fig. 14



• Regulador de pressão

O *regulador de pressão* é um instrumento que permite:

- reduzir a elevada e variável pressão do cilindro a uma pressão de trabalho adequada para soldagem;
- manter essa pressão constante, durante a soldagem.

De acordo com a pressão de trabalho do acetileno, temos três tipos:

Alta pressão = quando o acetileno trabalha a uma pressão que varia entre 0,3 a 0,5 kg/cm².

Média pressão = quando o acetileno trabalha a uma pressão que varia entre 0,3 a 0,5 kg/cm².

Baixa pressão = quando o acetileno é mantido a uma pressão comum.

O *regulador de pressão* é acoplado em cada cilindro, isto é, um regulador de pressão ao cilindro de oxigênio e outro ao cilindro de acetileno.

Observe os reguladores de pressão para o cilindro de acetileno (**A**) e para o cilindro de oxigênio (**B**).

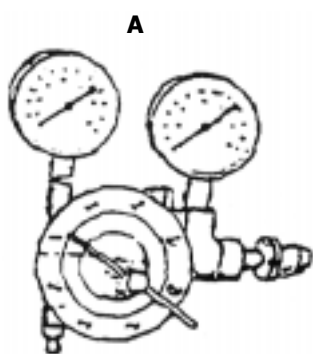


Fig. 15

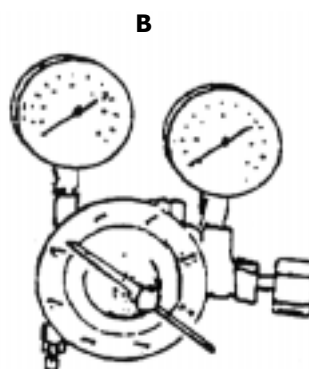


Fig. 16

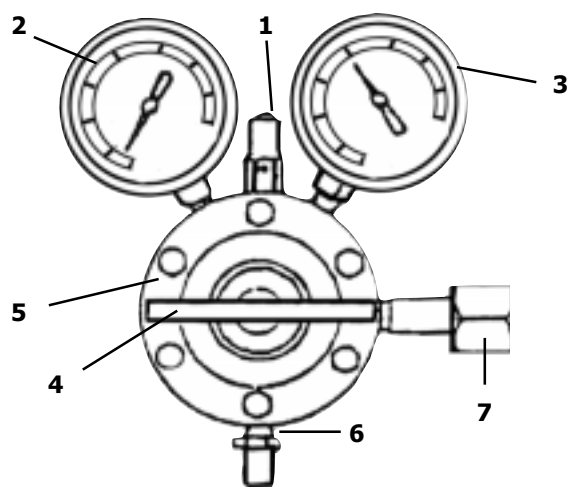


Fig. 17

1. válvula de segurança
2. manômetro de baixa pressão
3. manômetro de alta pressão
4. corpo do regulador de pressão
5. borboleta de ajuste
6. "niple" de acoplamento com o cilindro
7. "niple" de saída da mangueira



Roteiro – PREPARO DO EQUIPAMENTO OXIACETILÊNICO

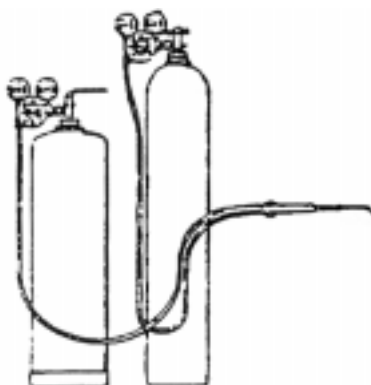


Fig. 18

1. Monte os reguladores de pressão.

Os cilindros devem ficar em posição vertical e fixos, para evitar a queda dos mesmos.

a. Retire a tampa dos cilindros.

b. Abra e feche ligeiramente as válvulas para retirar impurezas.

Antes de abrir o cilindro de acetileno, certifique-se de que não existe fogo por perto.

Ao manipular os cilindros, deve-se ter as mãos limpas de graxa e óleo, pois estes podem provocar combustão explosiva.

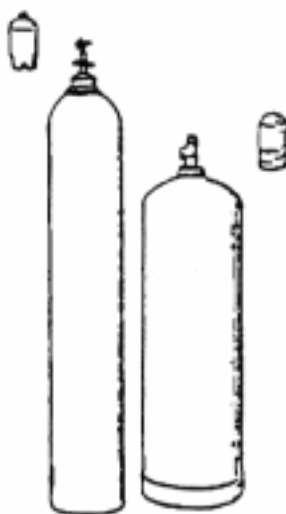


Fig. 19



O regulador de pressão possui dois manômetros com as seguintes finalidades:

- **Manômetro de baixa pressão:** registrar a pressão necessária de trabalho, que é regulada de acordo com o número do bico e com a espessura do material que está sendo soldado.

Observação

Deve-se regular este manômetro, consultando a tabela para seleção do bico.

- **Monômetro de alta pressão:** registrar o conteúdo do gás contido no cilindro.

- Para manejar o regulador de pressão, gira-se a borboleta de ajuste em dois sentidos: *horário* e *anti-horário*.

- Girando a borboleta no sentido horário, a ponteira do manômetro de baixa pressão sobe, indicando que a pressão subiu. Determina-se, então, a pressão necessária ao trabalho.

- Girando a borboleta no sentido anti-horário, a ponteira do manômetro de baixa pressão desce, indicando que a pressão baixou, não existindo pressão para a realização do trabalho.

Você encontra, ainda, no regulador de pressão, outras partes que o compõem. A válvula de segurança tem como finalidade evitar o excesso de escapamento do gás, diante da possibilidade de um aumento de pressão no cilindro.

Roteiro – INSTALAÇÃO DE REGULADOR

1. Coloque os reguladores de pressão nos seus respectivos cilindros, utilizando a chave de boca adequada à porca, tendo cuidado para que os manômetros fiquem numa posição tal, que o operador possa ler, com facilidade, a pressão.

2. Afrouxe a borboleta de ajuste no sentido anti-horário, isto é, no sentido contrário aos ponteiros do relógio.

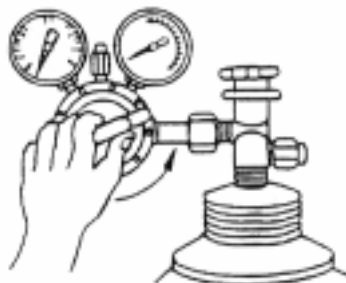


Fig. 20

3. Coloque as mangueiras nos “nipples” de saída de oxigênio e acetileno dos reguladores de pressão, apertando com a chave adequada aos “nipples”.

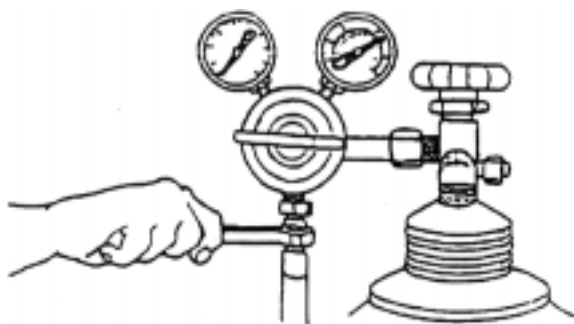


Fig. 21

4. Coloque as mangueiras nos conectores de acetileno e de oxigênio do maçarico de baixa pressão, apertando com a chave de boca adequada às porcas das mangueiras.



Fig. 22

Observações

- A mangueira que conduz o acetileno é de cor vermelha e tem sua porca com rosca esquerda.
- A mangueira que conduz o oxigênio é de cor azul, verde ou negra e tem sua porca com rosca direita.

5. Coloque as braçadeiras, ajustando-as nas mangueiras próximas ao “niple” de saída da mangueira dos reguladores de pressão e dos conectores do maçarico, com a chave de fenda.

6. Monte o maçarico de baixa pressão.

- a. Ajuste o bico manualmente, colocando-o em posição de trabalho.



Fig. 23



7. Regule a pressão de trabalho, abrindo as válvulas do cilindro e aperte os registros do acetileno e do oxigênio do maçarico.

8. Acenda o maçarico.



Coloque os óculos.

a. Abra o registro de acetileno do maçarico dando $\frac{1}{4}$ de volta.

9. Elimine as pressões.

a. Feche as válvulas dos cilindros.

b. Afrouxe as borboletas de ajuste dos manômetros de pressão.

c. Abra os registros do maçarico para tirar os gases que estão nas mangueiras e, em seguida, feche-os.

Observação

Deve-se seguir os mesmos passos para preparar equipamento oxiacetileno, com o maçarico de alta pressão.



Durante a soldagem pode ocorrer, a qualquer momento, retrocesso de chama no maçarico, com risco de explosão.

Neste caso, proceda do seguinte modo:

- 1. Feche o registro de oxigênio do maçarico.*
- 2. Feche o registro de acetileno do maçarico.*
- 3. Esfrie o maçarico, colocando-o num recipiente com água.*
- 4. Retire o maçarico da água e abra o registro de oxigênio, para retirar a água que penetrou no maçarico.*

No processo da soldagem a ser realizada, faz-se necessário regular a chama do maçarico apropriado.

A temperatura máxima de uma chama oxiacetilênica é de aproximadamente 3100°C, situando-se nas proximidades da extremidade do dardo.



Temperatura de combustão nas diferentes zonas de chama

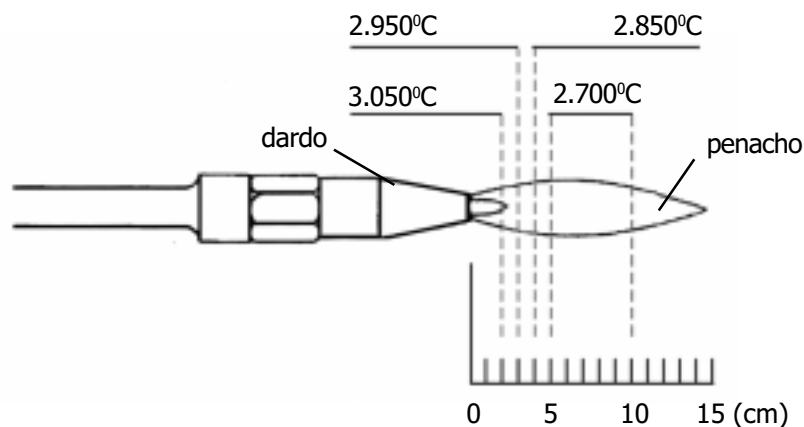


Fig. 24

Regulagem da chama

Neste processo de soldagem existem três tipos de chamas:

- chama neutra;
- chama oxidante;
- chama redutora ou carburante.

Chama neutra

Alimentação em volumes iguais de oxigênio e acetileno. Esta chama é destruidora dos óxidos metálicos que se podem formar no decorrer da soldagem. Deve ser usada *exclusivamente* em soldas de tubos de cobre com tubos de cobre.



Fig. 25

Chama oxidante

Chama com excesso de oxigênio, mais quente que a neutra. Conveniente para a soldagem do latão.

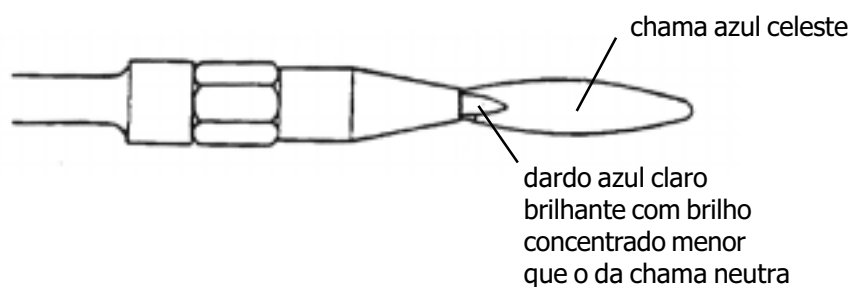


Fig. 26

Chama redutora ou carburante

A chama com excesso de acetileno é menos quente que a chama neutra. Ela é usada principalmente para a soldagem de alumínio e suas ligas e, ainda, para a soldagem de tubos de cobre com tubos de aço.

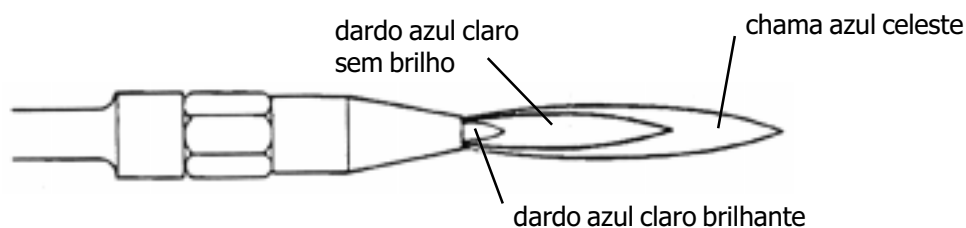


Fig. 27

Pré-aquecimento

Exemplos de temperaturas medidas sobre uma peça, quando se faz variar a distância da ponta do dardo à peça, usando uma chama constante e do tipo carburante.

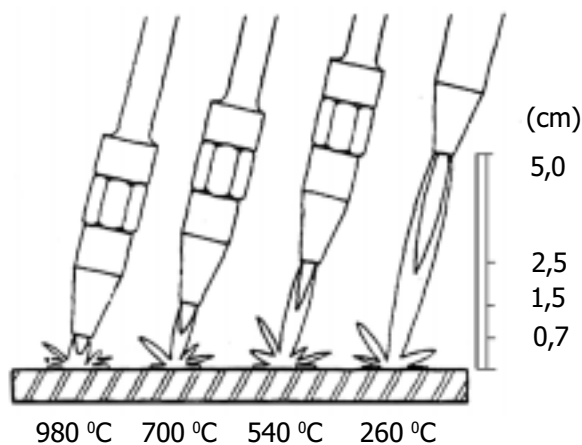
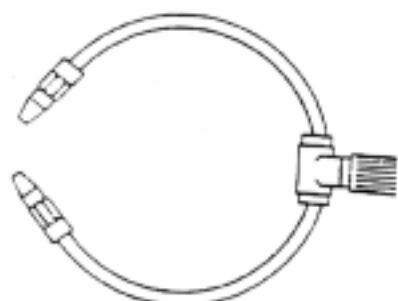


Fig. 28



Na soldagem a maçarico, o *pré-aquecimento* da peça, desenvolvendo movimentos circulares, deve exercer-se em toda ou quase toda a superfície em profundidade. No caso de tubulações, é sempre conveniente usar o seguinte tipo de maçarico.



maçarico de solda
com bico duplo

Fig. 29



Fig. 30

Procedimentos para soldagem

- Quando o pedaço de solda derreter, podemos dizer que o tubo macho está na temperatura certa para a soldagem.

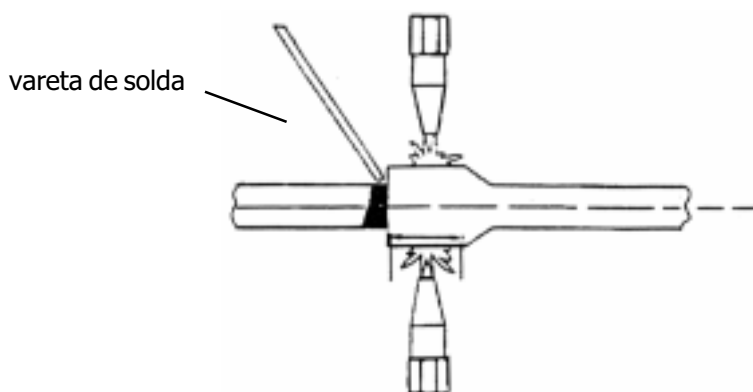


Fig. 31

- Em seguida, aqueça o tubo fêmea até que este fique bem vermelho.
- Coloque a ponta da vareta de solda no local a ser soldado, mantendo o maçarico em movimento.
- Não force a vareta contra o ponto a ser soldado; apenas aproxime-a do ponto visado e deixe-a derreter, até que a solda penetre totalmente entre o tubo macho e o fêmea.



- Não incida a chama do maçarico sobre a vareta de solda. Basta deixar que a vareta derreta ao contato com o tubo aquecido.

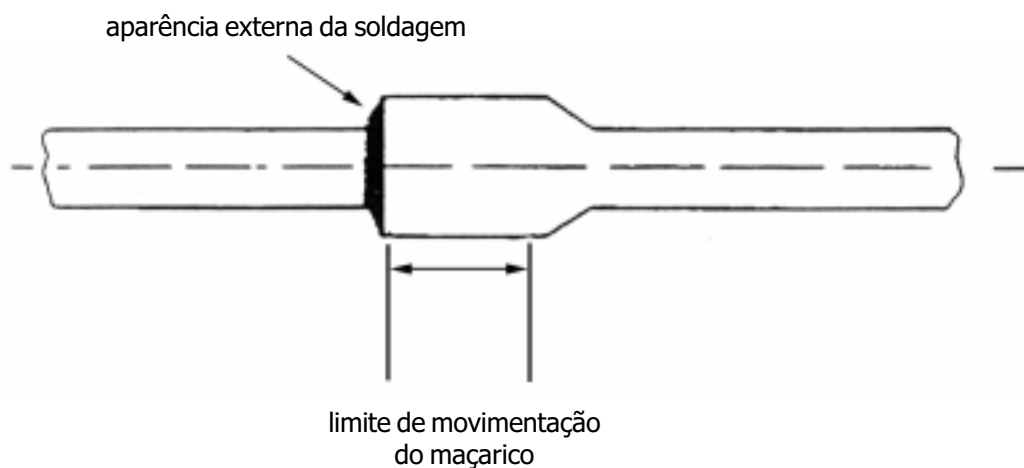


Fig. 32

- Em seguida, retire a chama e a vareta.

O aspecto externo da solda deve ser igual ao da figura acima.

Se houver suspeita ou identificação de poros na soldagem, aqueça novamente o tubo, movimentando o maçarico de forma correta, depositando o mínimo necessário de solda.

Método correto para soldagem de tubos de cobre com tubos de aço

Para este tipo de soldagem são usadas as seguintes varetas de Solda Prata: 50%, 45%, 40%, 35% e 25%. Todas devem apresentar alta fluidez e trabalhar com a ajuda do fluxo. O fluxo tem função de:

- limpar o local de penetração de solda;
- desoxidar o local da solda;
- facilitar a penetração da solda;
- indicar o momento certo para a aplicação da vareta de solda.

O fluxo deve apresentar-se na forma pastosa ou em pó. Para esta soldagem deve ser usada a chama do tipo carburante ou redutora, com pequeno excesso de acetileno.



Seqüência da soldagem

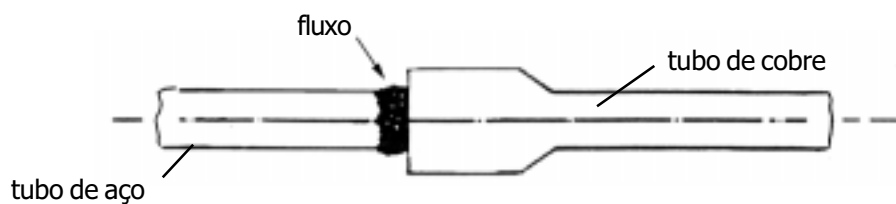


Fig. 33

Antes de aquecer os tubos, deposite o fluxo sobre o local da soldagem.

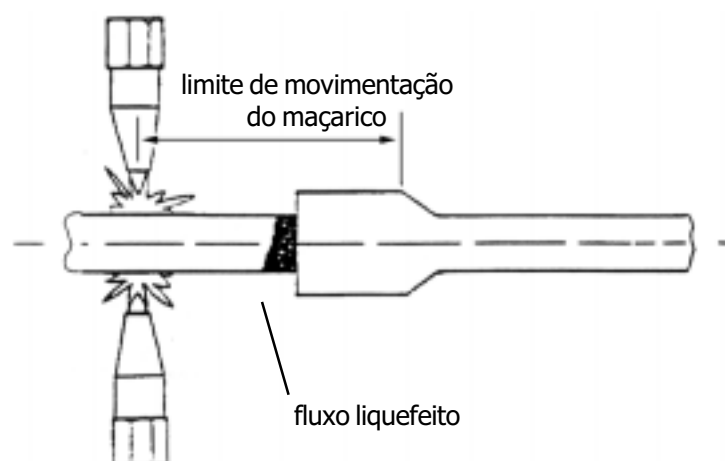


Fig. 34

Aqueça com o maçarico tanto o tubo macho como o fêmea, sem incidir a chama diretamente sobre a porção de fluxo.

Observações

- Aquecer o tubo de aço um pouco mais que o tubo de cobre.
- Imediatamente após ter aquecido os tubos e liquefeito o fluxo, aplique a ponta da vareta de solda no local da soldagem.
- Assim que a vareta de solda começar a derreter, movimente o maçarico de forma correta, até que a solda penetre entre os tubos.
- Não incida o maçarico diretamente na vareta; basta deixar que ela se derreta pela transmissão do calor dos tubos.
- Em seguida, retire a chama do maçarico e a vareta.

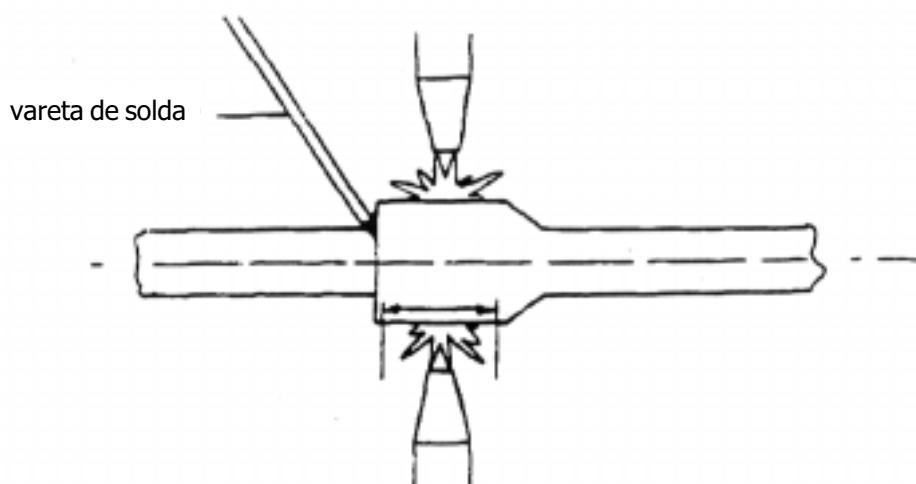


Fig. 35

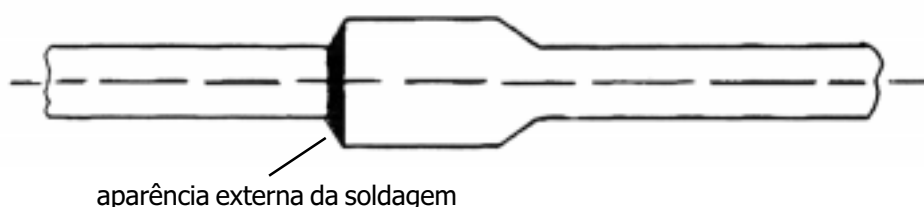


Fig. 36

O aspecto externo deve coincidir com o da figura acima.

Havendo suspeita ou identificação de poros na soldagem, aqueça novamente o tubo, movimentando o maçarico e depositando o mínimo de solda.

Ação da capilaridade

Este é o fenômeno pelo qual o material de solda é introduzido na junção a ser soldada.

O material de solda liquefeito tende sempre a fluir para o ponto mais quente da junta aquecida. A capacidade é causada pela atração entre as moléculas do material de base que se está soldando. Porém, isso ocorre somente quando:

- a superfície a ser soldada está limpa;
- a folga entre as partes a serem soldadas é correta;
- a área das partes a serem soldadas está suficientemente aquecida para derreter o material de solda.



As figuras abaixo mostram como ocorre a capilaridade.

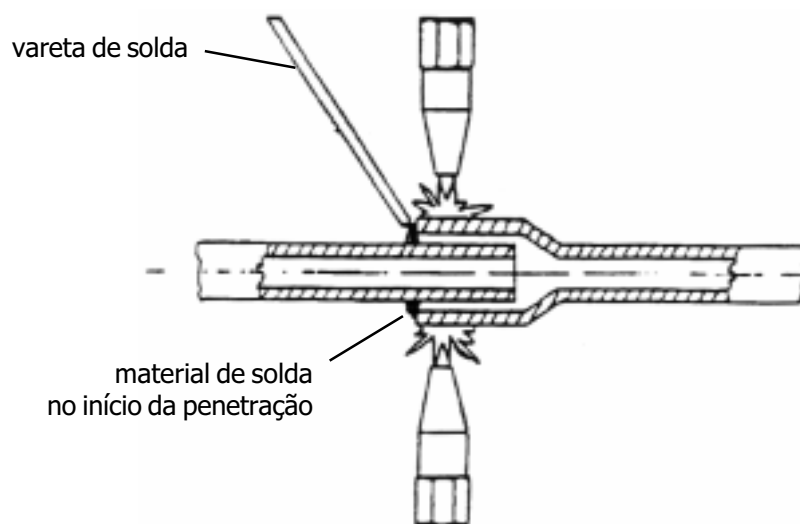


Fig. 37

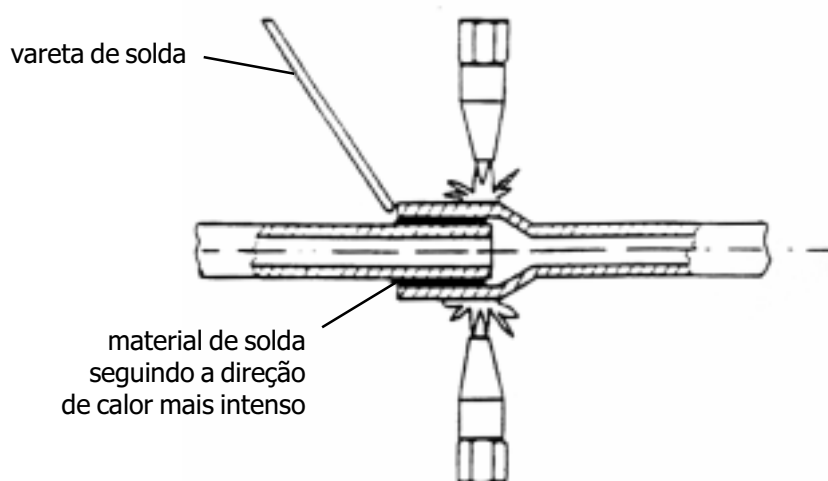


Fig. 38



Falhas de soldagem

A falta de um pré-aquecimento dos tubos, isto é, a aplicação da chama e do material de solda no mesmo instante, impede a capilaridade da solda, que se liquefaz somente na área em que o maçarico foi usado.

má distribuição da solda

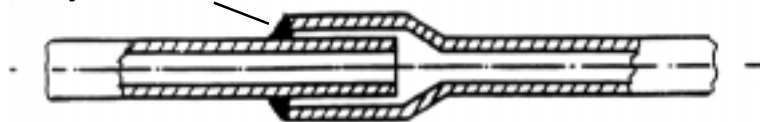


Fig. 39

- Folga excessiva entre as peças soldadas geralmente causa entupimentos.



Fig. 40

- O aquecimento excessivo pode fragilizar e até mesmo romper os tubos.

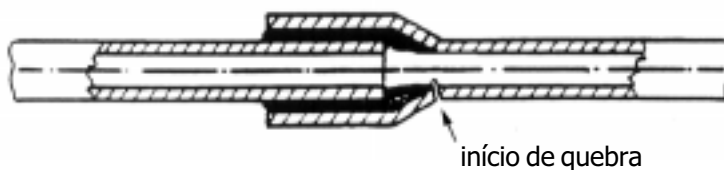


Fig. 41

- Aquecimento excessivo do material de solda causa porosidade na soldagem.

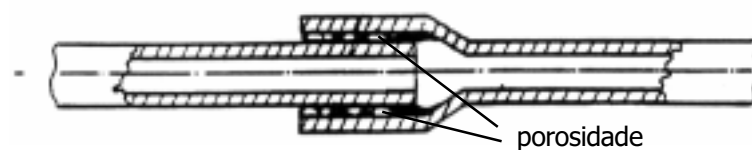


Fig. 42

Ciclo de refrigeração



Define-se *refrigeração* como sendo todo o processo de remoção de calor de um corpo, pela sua transferência a outro corpo de temperatura mais baixa. Em qualquer processo de refrigeração, o corpo que se emprega como elemento de absorção de calor ou como agente de resfriamento chama-se **refrigerante**.

Teoricamente, qualquer fenômeno físico ou químico de natureza endotérmica pode ser aproveitado na produção do frio como, por exemplo: a fusão de sólidos, a mistura de certos corpos com água, a expansão de um gás, a vaporização de um líquido, que têm como característica a capacidade de absorver grandes quantidades de calor ao se vaporizar. Em capítulo anterior, verificou-se que grande parte dos refrigerantes “fervem” a baixas temperaturas em condições normais de pressão atmosférica.

Refrigerante	Tempo de ebulição a CNTP
R - 12	- 29,8° C
NH3	- 33,3° C
R - 22	- 40,8° C

- A refrigeração pode ser obtida usando um desses líquidos, sem necessidade de qualquer equipamento.
- Um espaço isolado pode ser refrigerado, simplesmente permitindo que o refrigerante líquido se evapore, em um recipiente com saída para atmosfera.
- Posto que o refrigerante 22 se encontre à pressão atmosférica, sua temperatura de ebulição é de - 40,8° C. Ao vaporizar-se a esta temperatura, o R - 22 absorve calor facilmente do ar circundante ao recipiente, fazendo com que haja um abaixamento de temperatura do espaço isolado. A refrigeração continuará até que todo o líquido se evapore.

Qualquer recipiente em que se vaporize um refrigerante, seja ele qual for, durante um processo de refrigeração, é chamado **evaporador**.

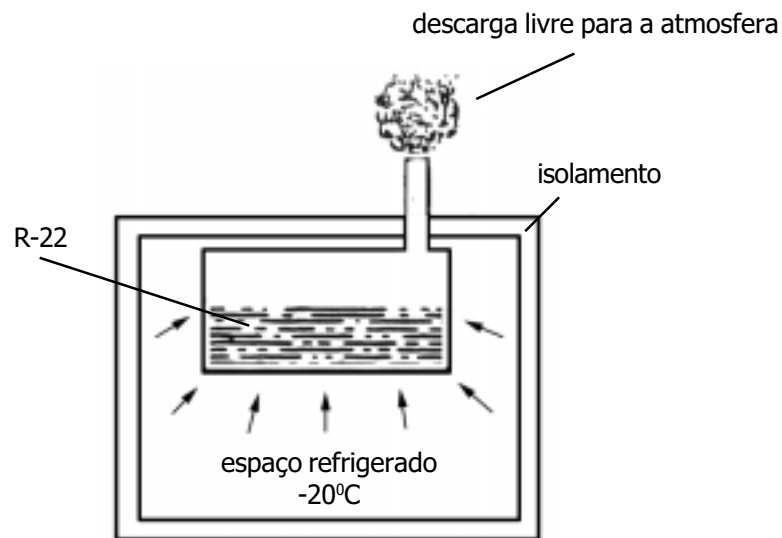


Fig. 1 - Resfriamento de um espaço isolado com descarga livre de R-22 para a atmosfera

Sabe-se que a temperatura de ebulição da água varia de acordo com a altitude local, ou seja, em função da pressão local. Da mesma forma, se elevarmos a pressão no recipiente contendo R-22, o líquido passará a “fervor” a uma temperatura mais elevada. A pressão de vapor sobre o líquido do recipiente pode ser controlada, regulando-se a saída de vapor do sistema.

Por exemplo, instalando-se uma válvula manual de escape, e fechando-a parcialmente, de modo que o vapor possa sair livremente, a pressão no recipiente se elevará.

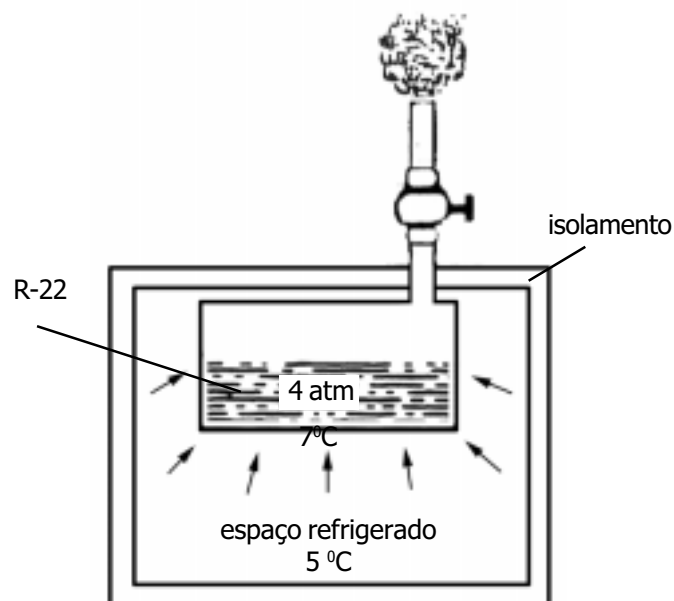
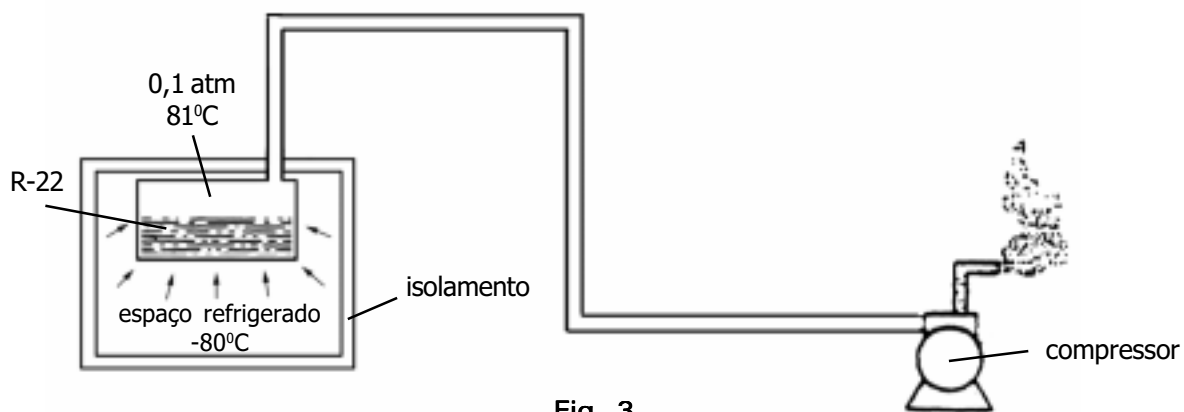


Fig. 2 - Resfriamento de um espaço isolado, elevando-se a pressão no recipiente.

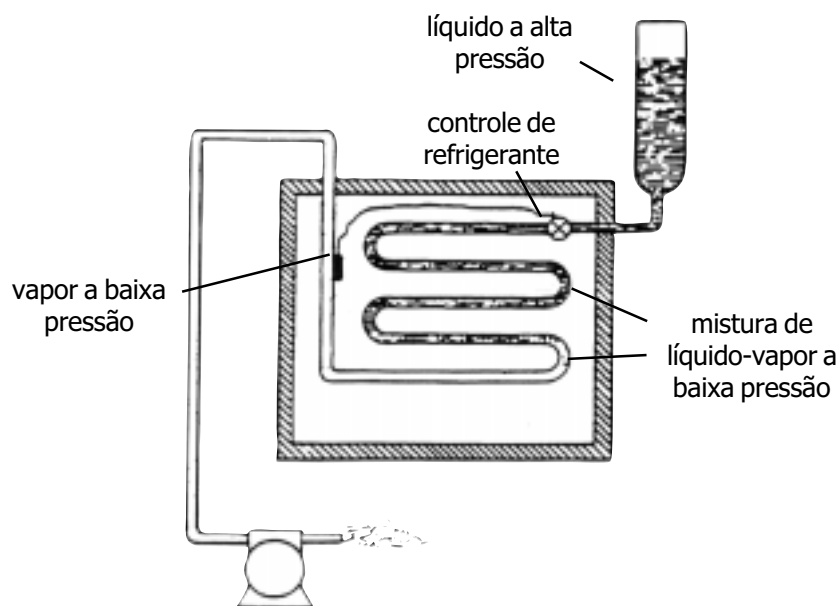


Por meio de um ajuste cuidadoso na válvula, é possível controlar a pressão no evaporador, de modo que o refrigerante se vaporize a qualquer temperatura entre $-40,8^{\circ}\text{C}$ e a temperatura ambiente. Ao se reduzir a pressão de vapor no evaporador a uma pressão menor que a pressão atmosférica, o refrigerante 22 passará a “fervor” à temperatura inferior a $-40,8^{\circ}\text{C}$. Esta redução de pressão pode ser conseguida utilizando-se uma bomba de vapor ou compressor, podendo-se obter a vaporização do R-22 líquido a temperaturas bastante baixas.

**Fig. 3**

A vaporização contínua do refrigerante requer uma reposição contínua, de modo a manter uma quantidade constante de líquido. Um método bastante simples é utilizar uma válvula de bóia, que mantém um nível constante de líquido no evaporador.

Existem vários tipos de controle de fluxo de refrigerante, sendo mais comumente utilizada a *válvula de expansão termostática*.

**Fig. 4 - Controle do fluxo de refrigerante através da válvula de expansão termostática**



Nos processos anteriormente descritos, verifica-se que existe perda total de refrigerante para o exterior, o que não é conveniente nem tampouco econômico.

O vapor deve ser coletado continuamente e condensado de maneira que possa ser reaproveitado para utilização no mesmo sistema. Para isto, deve-se agregar um condensador ao sistema.

- **Tanque de líquido:** armazena o refrigerante líquido e proporciona uma alimentação constante de líquido ao evaporador, conforme as oscilações de carga térmica.

- **Válvula de expansão:** controla o fluxo de refrigerante ao evaporador, reduz a pressão do líquido, de modo que este se vaporize no evaporador a baixa temperatura.

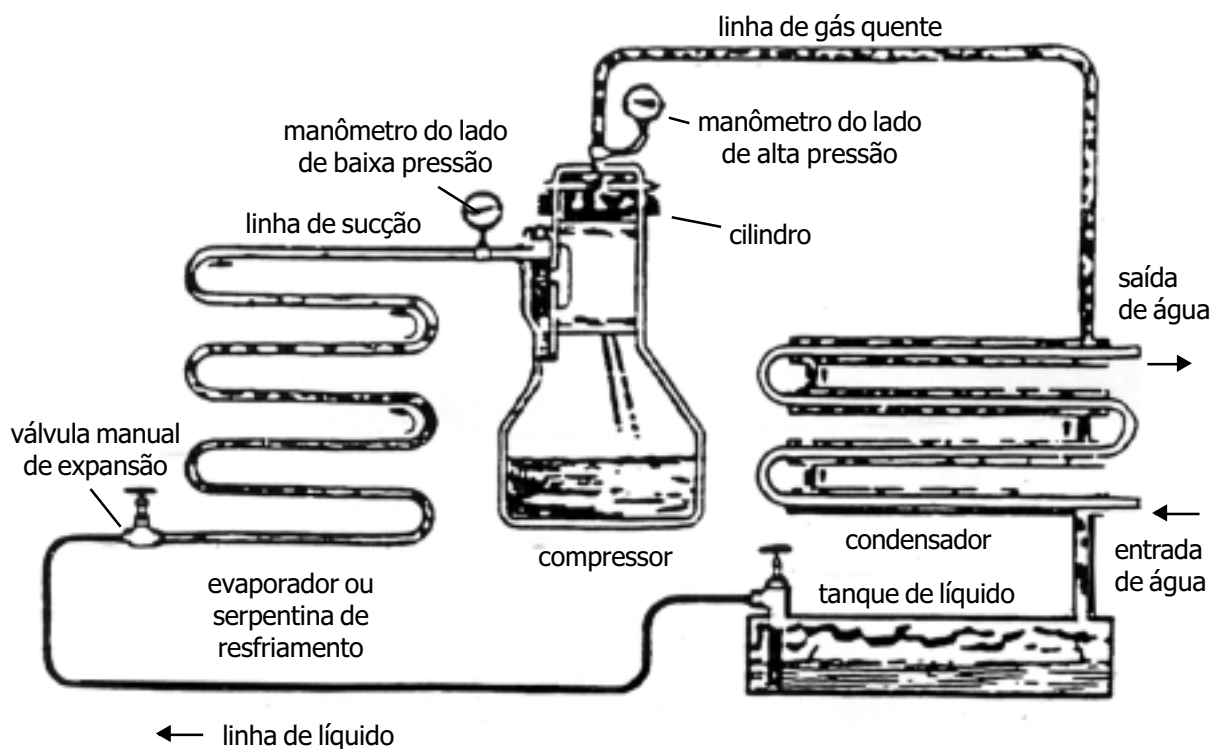


Fig. 5 - Sistema mecânico de refrigeração

Para condensar o vapor de refrigerante, deve-se transferir para outro meio o calor latente fornecido pelo vapor. Os meios normalmente utilizados são a água ou o ar, que deverão estar a uma temperatura inferior à temperatura de condensação do refrigerante.

Entende-se por temperatura de condensação como sendo aquela à qual se condensa o vapor e é a temperatura de saturação do vapor correspondente à pressão no condensador.

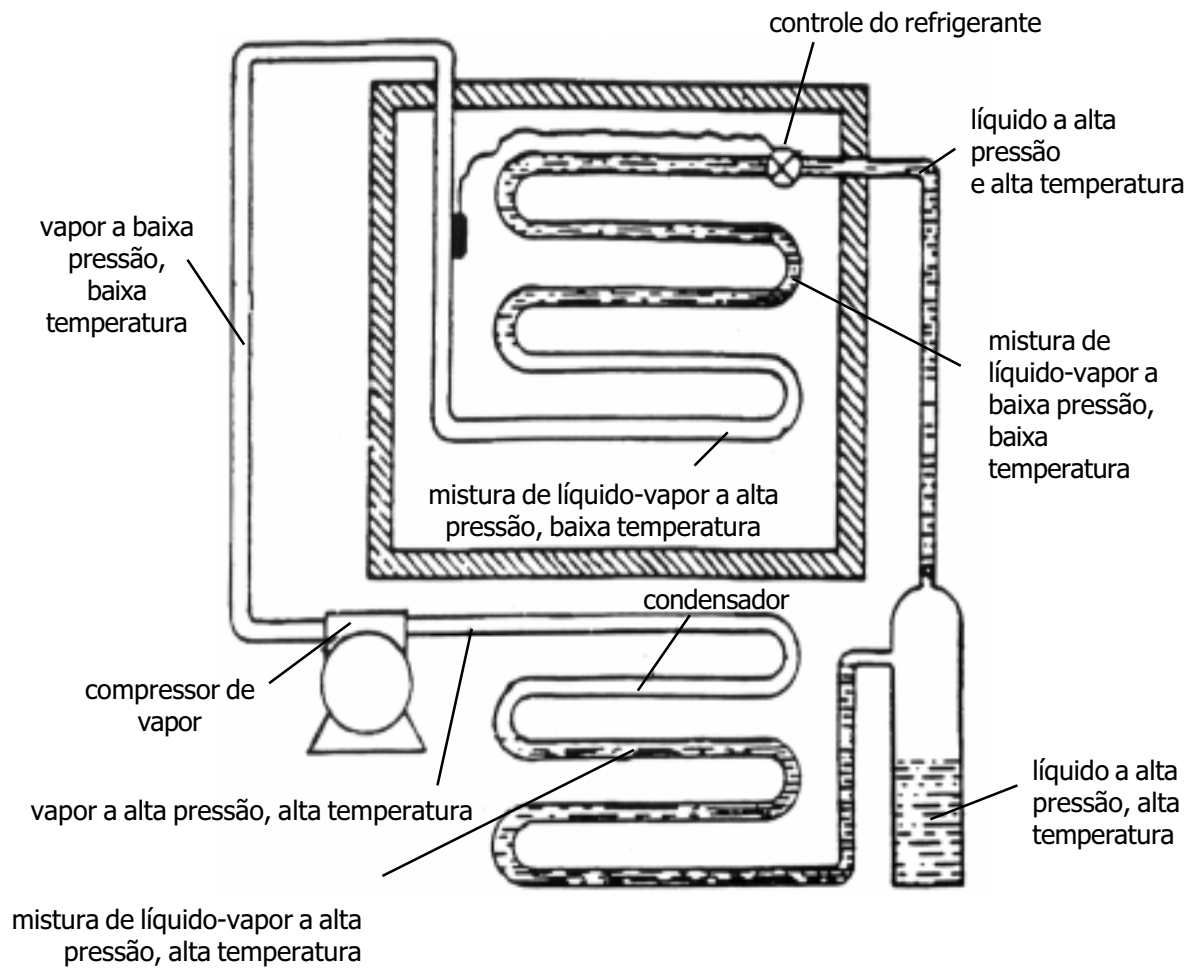


Fig. 6 - Sistema de refrigeração com recuperação de refrigerante

Ciclo típico de compressão a vapor

Diagrama de um sistema completo de compressão a vapor, composto basicamente de:

- **Evaporador ou serpentina de resfriamento:** onde se processa a troca de calor entre o refrigerante e o meio a ser resfriado.
- **Compressão:** succiona o vapor do evaporador, elevando sua pressão e temperatura a um ponto que permita sua condensação.
- **Condensador:** onde ocorre a transferência de calor do vapor refrigerante para o meio condensante.

Deve-se ter cuidado, porém, para não confundir temperatura de condensação com temperatura de descarga, que é a temperatura de saída do vapor do compressor. Pelo fato de o vapor se encontrar superaquecido no compressor e mais o calor de compressão, o vapor na descarga do compressor está altamente superaquecido e sua temperatura é consideravelmente superior à temperatura de saturação correspondente à sua pressão.



O vapor refrigerante, ao deixar o evaporador, encontra-se a uma temperatura inferior à temperatura do meio condensante (água ou ar) impossibilitando, assim, a condensação do vapor. Para condensá-lo, a sua pressão deve ser aumentada até um ponto em que sua temperatura de condensação seja superior à temperatura da água ou ar disponível para fins de condensação. O refrigerante deverá, portanto, ser comprimido até uma pressão cuja temperatura de condensação seja superior à temperatura do meio condensante. Para este fim, há necessidade de um compressor.

A única razão por que se introduzem compressor e condensador no sistema é permitir a utilização contínua do mesmo refrigerante. O custo derivado da compressão e condensação do refrigerante é muitíssimo inferior ao custo de aquisições contínuas de refrigerante para substituir o que se perderia.



Referências bibliográficas

BRASTEMP, Manual de aperfeiçoamento em refrigeradores. São Paulo, s.d. 127 p.

COSTA, Ennio Cruz da. Refrigeração. 3 ed. São Paulo, Edgar Blücher, 1982. 1v.

DANFOSS, Automação industrial em refrigeração comercial. São Paulo. S.d. 211p.

DOSSAT, Roy J. , Princípios da refrigeração. São Paulo, Hemus, 198. 1 v.

EMBRATEL, Manual de ar condicionado. Rio de Janeiro, s.d. 1v.

SENAI.ID.DRH, Mecânico de refrigeração. Rio de Janeiro, 1976. 1v.

SPRINGER, Manual de serviço: condicionadores de ar. Canoas 1978. 1v.

TORREIRA, Raul P. Refrigeração e ar condicionado. São Paulo, Hemus, 1983. 1v.

TORREIRA, Raul. Salas limpas. São Paulo, Hemus, 1983. 1v.



FIRJAN
*Federação
das Indústrias
do Estado do
Rio de Janeiro*

SENAI
*Serviço Nacional
de Aprendizagem
Industrial do
Rio de Janeiro*

Av. Graça Aranha, 1
Centro – CEP 20030-002
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: (0xx21) 2563-4526
Central de Atendimento:
0800-231231