

# — 21 —

## O gelo ao alcance de todos

O uso do refrigerador doméstico faz parte do nosso dia-a-dia. Em que princípio físico se baseia o seu funcionamento?



O armazenamento e o transporte de alimentos perecíveis constituíam um problema até bem pouco tempo atrás.

Era uma meta evitar que os alimentos se deteriorassem rapidamente devido à ação do calor, principalmente nas regiões tropicais e durante o verão.

O refrigerador, hoje ao alcance de todos, revolucionou os nossos hábitos de compra e de alimentação.

Discutindo o funcionamento dessa máquina de "fazer gelo", vamos apresentar o segundo princípio da termodinâmica.

# 21 O gelo ao alcance de todos

**Você estranhou o fato de a geladeira fazer parte de um capítulo em que se estudam máquinas térmicas?**

**Entrevistando um técnico de geladeira...**

**Veja algumas perguntas que você pode fazer ao profissional entrevistado:**



- 1) No que se baseia o funcionamento de uma geladeira?
- 2) Que gás é usado nas geladeiras?
- 3) O que acontece em cada parte da geladeira?
- 4) Como funciona o freezer?
- 5) Como a geladeira liga e desliga sozinha?

**O QUE UM APARELHO QUE RESFRIA ALIMENTOS E FABRICA GELO TEM DE SEMELHANTE COM UM MOTOR DE CARRO?**

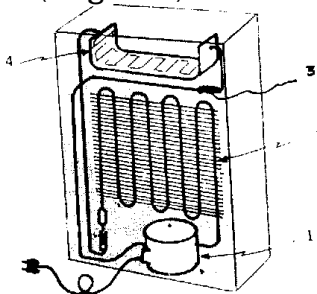
Se você observar a parte de trás da geladeira vai perceber algumas semelhanças.

Uma conversa com um técnico em refrigeração pode auxiliá-lo a entender como funciona uma geladeira.

Depois dessa discussão com o técnico você pode perceber que a geladeira é uma máquina térmica que utiliza a vaporização de uma substância (o freon) para retirar calor do seu interior.

## O refrigerador doméstico

A geladeira funciona em ciclos, utilizando um fluido (freon 12) em um circuito fechado. Tem como partes essenciais o compressor, o condensador, uma válvula descompressora e o evaporador (congelador).



O motor compressor comprime o freon, aumentando a pressão e a temperatura e fazendo-o circular através de uma tubulação. Ao passar por uma serpentina permeada por lâminas, o condensador, o freon perde calor para o exterior, liquefazendo-se. O condensador fica atrás da geladeira; é a parte quente que você deve ter observado.

Ao sair do condensador, o freon liquefeito ainda a alta pressão chega a um estreitamento da tubulação (tubo capilar), onde ocorre uma diminuição da pressão. O capilar é a válvula de descompressão.

Quando o freon líquido e a baixa pressão chega à serpentina do evaporador, de diâmetro bem maior que o capilar, se vaporiza, retirando calor da região próxima (interior do congelador). O gás freon a baixa pressão e temperatura é então aspirado para o compressor, onde se inicia um novo ciclo.

O congelador é a parte mais fria, por isso sempre está localizado na parte superior da geladeira, e tem condições de trocar calor com todo o seu interior. O ar quente sobe, se resfria na região do congelador e depois desce, estabelecendo a convecção do ar. Por isso as prateleiras são vazadas.

Tal como na turbina a vapor e no motor a combustão, a geladeira trabalha com uma substância de operação, tem partes que funcionam a altas temperaturas (fonte quente) e a baixas temperaturas (fonte fria).

Enquanto na turbina e no motor o calor flui espontaneamente da fonte quente para a fria (água de refrigeração e atmosfera), na geladeira o fluxo de calor não é espontâneo. Na geladeira a troca de calor se dá do mais frio (interior da geladeira) para o mais quente (meio ambiente). Para que isso ocorra, se realiza um trabalho externo sobre o freon para que ele perca calor no condensador e se evapore no congelador.

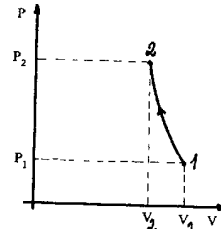
Em cada ciclo, a quantidade de calor cedida para o meio ambiente através do condensador é igual à quantidade de calor retirada do interior da geladeira, mais o trabalho realizado pelo compressor.

## Primeiro Princípio da Termodinâmica

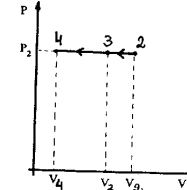
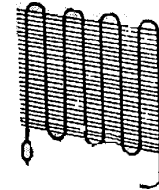
$$Q_{\text{condensador}} = Q_{\text{congelador}} + \tau_{\text{compressor}}$$

## Etapas do ciclo da geladeira

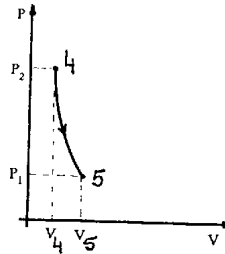
**1) Compressor:** devido à rapidez com que ocorre a compressão, esta pode ser considerada adiabática. A temperatura e a pressão se elevam. Como não há trocas de calor ( $Q = 0$ ), o trabalho realizado pelo compressor é equivalente à variação de energia interna da substância ( $1 \rightarrow 2$ );



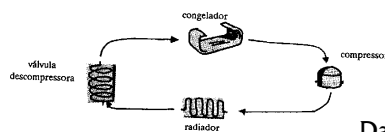
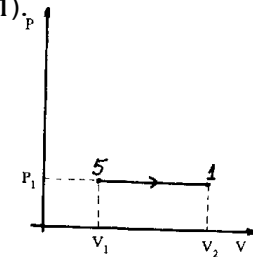
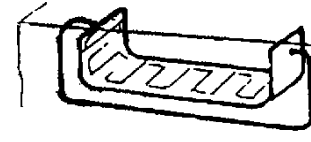
**2) Radiador:** inicialmente ocorre uma diminuição de temperatura a pressão constante ( $2 \rightarrow 3$ ), seguida de uma diminuição isobárica e isotérmica do volume na condensação ( $3 \rightarrow 4$ ). O calor trocado corresponde ao calor de esfriamento e ao calor de condensação.



**3) Válvula descompressora:** essa descompressão pode ser considerada adiabática devido à rapidez com que ocorre. A pressão diminui e o volume aumenta ( $4 \rightarrow 5$ );



**4) Congelador:** o freon troca calor com o interior da geladeira a pressão e temperatura constantes, expandindo-se à medida que se vaporiza (calor latente de vaporização) ( $5 \rightarrow 1$ ).



## O segundo princípio da Termodinâmica.

Da discussão do funcionamento do motor a combustão e da geladeira podemos perceber que:

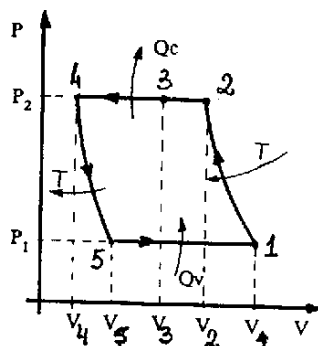
- É possível transformar energia mecânica (trabalho) totalmente em calor. Lembre-se da experiência de Joule.
- O calor flui espontaneamente da fonte quente para a fria. Lembre-se de que as peças do motor e o ambiente sempre se aquecem.

Mas esses processos não ocorrem em sentido contrário; eles são irreversíveis. Este é o **segundo princípio da Termodinâmica**, que pode ser enunciado como:

**"É impossível construir uma máquina que, operando em ciclos, transforme todo o calor em trabalho" ou "O calor não flui espontaneamente da fonte fria para a fonte quente".**

Na geladeira é o trabalho externo do compressor que faz com que o calor seja retirado do interior da geladeira. Esse princípio da Termodinâmica vale também para os processos naturais, como a germinação de uma semente, o envelhecimento do organismo e o aquecimento do meio ambiente; eles são irreversíveis.

### O ciclo completo



## Questões técnicas

1) A geladeira não é um aparelho elétrico como se pode pensar à primeira vista. O compressor, que comprime o freon e aumenta sua pressão e temperatura, fazendo-o circular pela tubulação, é um aparelho que transforma energia elétrica em mecânica. Esse trabalho de compressão, entretanto, pode ser feito sem utilizar eletricidade, aquecendo-se a substância de operação (amônia em lugar do freon).

Pesquise sobre as geladeiras antigas e as que funcionam hoje em lugares onde não há energia elétrica.

2) Por que há formação de gelo em volta do evaporador?

### Resolução:

O ar retido no interior da geladeira contém vapor de água. A água em contato com o congelador se solidifica, formando uma camada de gelo a sua volta. É também devido ao congelamento da água contida na nossa pele que ficamos com os dedos "grudados" numa forma de gelo metálica. A água do ar e a da nossa pele se misturam e congelam.

3) O que faz com que a geladeira ligue e desligue sozinha?

### Resolução:

O funcionamento da geladeira é regulado automaticamente, conservando a temperatura desejada no evaporador por meio de um termostato. Esse controlador de temperatura contém gás ou líquido que, ao atingir a temperatura definida pela posição do botão de graduação a ele acoplado, abre ou fecha os contatos elétricos, fazendo o motor parar ou começar a funcionar. Nas geladeiras modernas, o

termostato, ao se desligar, aciona circuitos elétricos que provocam o degelo automático do congelador por aquecimento (efeito joule). Uma bandeja colocada acima do motor recolhe a água que flui através de uma tubulação de plástico, que é posteriormente evaporada.

4) Quais as características do gás utilizado nas geladeiras? No caso de vazamento, ele é prejudicial ao meio ambiente?

### Resolução:

O freon 12 (clorofluorcarbono) é a substância de operação escolhida para refrigeração devido a suas propriedades:

- elevado calor latente de condensação: o que faz com que ceda bastante calor no condensador que é jogado para o ambiente.

- baixa temperatura de ebulição:  $-29,8^{\circ}\text{C}$  à pressão atmosférica.

- miscível em óleos minerais: o que permite a lubrificação interna do compressor.

- atóxico, não combustível, não explosivo, não corrosivo: o que o torna inofensivo no caso de vazamento.

O freon, assim como os *sprays*, tem sido responsabilizado pela destruição da camada de ozônio da atmosfera quando lançado no ar. A camada de ozônio absorve os raios ultravioleta.

No caso do desaparecimento do ozônio, ficaríamos expostos a radiação de maior energia e correríamos o risco de contrair câncer de pele.

Essas questões ambientais levaram os industriais a substituir o freon 12 (CFC 12) por produtos menos prejudiciais. Recentemente o Brasil optou pelo

uso do HFC 134-A, que, no caso de vazamento, pode poluir o ambiente mas não destrói a camada de ozônio, e não é inflamável.

5) Quanto ao funcionamento, qual a diferença entre uma geladeira e um *freezer*?

### Resolução:

A geladeira e o *freezer* são equivalentes quanto ao funcionamento. O *freezer* possui um evaporador grande o suficiente para manter a temperatura interna em  $-20^{\circ}\text{C}$ . Por isso o motor (motor compressor) é mais potente, comprimindo maior quantidade de freon 12 do que a geladeira comum. Conseqüentemente, o condensador do *freezer* troca maior quantidade de calor com o ambiente.

6) Existe semelhança entre o funcionamento de uma geladeira e o de um condicionador de ar?

### Resolução:

Os refrigeradores e os condicionadores de ar têm em comum o fato de trabalharem em ciclos, num "circuito fechado", sem gastar a substância refrigerante ao longo do tempo. Os condicionadores de ar também são constituídos por um compressor, um evaporador e um condensador, mas utilizam o freon 22, cuja temperatura de ebulição,  $-40,8^{\circ}\text{C}$  à pressão atmosférica, permite a sua condensação sob pressões menores sem haver necessidade de compressões tão potentes.

Neles, o ar que provém do ambiente (contendo pó e umidade), após passar por um filtro que retém suas impurezas, entra em contato com a serpentina do evaporador, sendo resfriado e devolvido ao ambiente impulsionado por um ventilador.