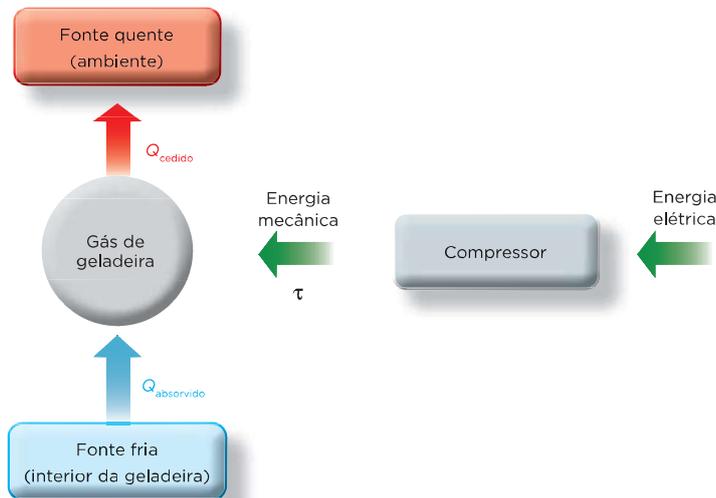


### 3.2 Fluxo de energia de uma máquina frigorífica

Dado que a transferência de calor de uma região mais fria para uma região mais quente não é espontânea, a operação de uma máquina frigorífica requer o consumo de energia (geralmente elétrica) a fim de acionar um compressor – máquina que realiza compressões gasosas.



### 3.3 Cálculo da eficiência de uma máquina frigorífica

Quanto menos energia ( $\tau$ ) for consumida no acionamento do compressor e maior for a quantidade de calor retirada da fonte fria ( $Q_{FF}$ ), maior será o rendimento da máquina frigorífica. Algebricamente, a eficiência ( $e$ ) de uma máquina frigorífica é definida por:

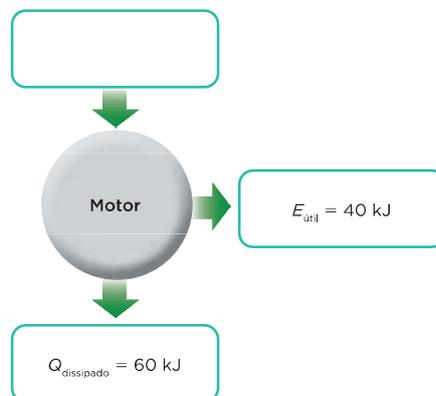
$$e = \frac{Q_{FF}}{\tau}$$

**Observação:** Ao contrário do rendimento, a eficiência de uma máquina frigorífica não é apresentada sob forma de porcentagem, uma vez que a energia útil ( $Q_{FF}$ ) não é uma parcela da energia consumida ( $\tau$ ).

## DESENVOLVENDO HABILIDADES

Aula 9

- Um técnico da Embraer, trabalhando no teste de um protótipo de um motor aeronáutico (visto aqui como uma máquina térmica), efetuou um conjunto de medidas e verificou que, a cada ciclo completo, realizado em  $10^{-1}$  s, o motor apresentava o seguinte fluxo de energia:



A energia que faz o motor operar provém da queima de querosene, que tem um poder calorífico de 40 MJ/kg.

Considerando a queima completa do combustível a cada ciclo, a massa de querosene consumida pelo motor a cada hora de funcionamento é de:

- a) 2,5 g
- b) 250 g
- c) 2,5 kg
- d) 9 kg
- ▶ e) 90 kg

Pelo fluxo de energia de uma máquina térmica, a quantidade de energia necessária, proveniente da queima do querosene, deve ser de  $100 \text{ kJ} = 10^5 \text{ J}$ .

Desse modo, a cada ciclo, a quantidade de combustível pode ser obtida por:

$$1 \text{ kg de querosene} \quad \text{—————} \quad 40 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$m \text{ (kg)} \quad \text{—————} \quad 10^5 \text{ J}$$

Portanto:  $m = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 2,5 \text{ g}$

Essa é a quantidade de combustível consumida em cada ciclo, ou seja, em  $10^{-1} \text{ s}$ .

Em uma hora (3600 s), temos:

$$2,5 \text{ g} \quad \text{—————} \quad 10^{-1} \text{ s}$$

$$m \text{ (g)} \quad \text{—————} \quad 3600 \text{ s}$$

$$m = 90000 \text{ g} = 90 \text{ kg}$$

- 2 Sobre a máquina de Carnot, assinale certo (C) ou errado (E) nas afirmações a seguir.

- (E) É possível construir uma máquina térmica de Carnot.
- (E) A máquina térmica de Carnot é uma máquina ideal que pode apresentar rendimento 100%.
- (E) O ciclo da máquina de Carnot é constituído por duas transformações isobáricas intercaladas por duas transformações isocóricas.
- (E) A depender da tecnologia usada, é possível construir uma máquina real, operando entre duas temperaturas, que apresente rendimento superior à máquina de Carnot operando entre as mesmas temperaturas.

Errado. A máquina de Carnot é uma máquina idealizada, portanto, não pode ser construída de verdade.

Errado. Nenhuma máquina térmica (real ou ideal) pode apresentar rendimento 100%.

Errado. O ciclo de Carnot é constituído de duas transformações isotérmicas intercaladas por duas transformações adiabáticas.

Errado. A máquina de Carnot é a máquina hipotética que apresentaria maior rendimento possível, operando entre as temperaturas da fonte quente e da fonte fria.

- 3 (Escola Naval-RJ) Uma máquina térmica realiza a cada ciclo um trabalho de  $8 \times 10^2 \text{ J}$ , com uma eficiência de 20%. Considerando que essa máquina opere segundo um ciclo de Carnot, com a fonte fria a uma temperatura de 300 K, qual é a temperatura da fonte quente e quanto calor é cedido para a fonte fria, respectivamente?

- ▶ a) 375 K e 3200 J
- b) 375 K e 4000 J
- c) 400 K e 3200 J
- d) 400 K e 4000 J
- e) 750 K e 4800 J

Determinação da temperatura da fonte quente ( $T_q$ ) pelo rendimento de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} \Rightarrow 0,2 = 1 - \frac{300}{T_q} \Rightarrow \frac{300}{T_q} = 0,8 \therefore T_q = 375 \text{ K}$$

Determinação da quantidade de calor cedido para a fonte fria ( $Q_p$ ):

$$\eta = \frac{\tau}{Q_q} \Rightarrow 0,2 = \frac{800}{Q_q} \therefore Q_q = 4000 \text{ J}$$

Se a máquina absorve 4000 J da fonte quente e transforma, desse total, 800 J em energia útil ( $\tau$ ), conclui-se que 3200 J foram rejeitados à fonte fria.

Aula 10

- 4 As máquinas frigoríficas mais presentes em nosso cotidiano são os refrigeradores (geladeiras ou *freezers*) e aparelhos de ar condicionado. Em geral, para seu funcionamento, esses aparelhos consomem energia elétrica.

Com relação aos mecanismos de funcionamento de uma máquina frigorífica, analise as informações a seguir, assinalando certo (C) ou errado (E).

- (E) O consumo da energia elétrica se explica pela impossibilidade de converter energia mecânica em térmica.
- (C) O consumo da energia elétrica se explica pela necessidade de, durante o ciclo de funcionamento, se acionar um motor para realizar compressões sobre a massa de gás operante.
- (C) Nas máquinas frigoríficas, a quantidade de calor rejeitada à fonte quente é sempre superior à quantidade de calor retirada da fonte fria.
- (E) Como as máquinas térmicas, a eficiência de uma máquina frigorífica não pode ser maior ou igual a 1.

Errado. O consumo de energia elétrica está relacionado ao acionamento do compressor – que, como o nome sugere, realiza sucessivas compressões no gás que circula na máquina frigorífica.

Certo. O gás precisa ser comprimido para, no interior do aparelho, expandir-se rapidamente e, conseqüentemente, resfriar-se.

Certo. Pelo balanço de energia na máquina frigorífica:

$$Q_{\text{(cedido à fonte quente)}} = Q_{\text{(absorvido da fonte fria)}} + \tau_{\text{(motor/compressor)}}$$

Errado. Eficiência não tem a mesma definição de rendimento. Portanto, a eficiência pode ser superior a 1.

- 5 Você já deve ter notado, nos eletrodomésticos expostos nas lojas, um adesivo com faixas coloridas, no qual se destaca a palavra ENERGIA.



Direceu Portugal/Fotoarena

Esse adesivo, denominado selo Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), contém informações sobre a eficiência dos aparelhos, por meio de um código de letras e faixas coloridas. No caso das geladeiras, esse código indica o índice de eficiência energética, EER (sigla de Energy Efficiency Ratio), que é obtido pela relação entre a quantidade de energia térmica retirada do interior do aparelho e o consumo de energia elétrica para a realização dessa tarefa.

A	EER > 3,20
B	3,20 ≥ EER > 3,00
C	3,00 ≥ EER > 2,80
D	2,80 ≥ EER > 2,60
E	2,60 ≥ EER > 2,40
F	2,40 ≥ EER > 2,20
G	2,20 ≥ EER

Aumento da eficiência

Por exemplo, uma geladeira cujo EER é 4 consome 1 J de energia elétrica para retirar 4 J de calor do interior do aparelho.

Suponha uma geladeira em que, a cada ciclo completo, as forças aplicadas ao gás realizem um trabalho de 3 kJ, e que, nesse mesmo ciclo, 15 kJ sejam cedidos ao meio ambiente.

Considere que, a cada ciclo, essa geladeira consuma 4 kJ de energia elétrica durante o funcionamento do seu compressor. Com base nesses dados, o valor do EER dessa máquina frigorífica vale:

- a) 0,20  
 b) 0,80  
 c) 1,25  
 ► d) 3,00  
 e) 4,00

Na geladeira, a quantidade de energia transferida ao ambiente corresponde à soma da energia térmica retirada da fonte fria (interior da geladeira) com a energia consumida na realização do trabalho.

Assim:  $15 \text{ kJ} = 3 \text{ kJ} + Q_{\text{FF}} \Rightarrow Q_{\text{FF}} = 12 \text{ kJ}$

Pela definição de EER:

$$e = \frac{\text{Quantidade de calor retirada da fonte fria}}{\text{Energia elétrica consumida}}$$

$$e = \frac{12}{4} = 3$$