

# Dá um tempo, motor!



Depois de passar quase a noite toda no borracheiro, Roberto voltou pra casa com Cristiana e Maristela, que ainda fazia anotações no seu caderno. O silêncio de Maristela despertou a curiosidade de Cristiana, que perguntou:

- Maristela, o que você tanto escreve nesse caderno?
- Na realidade, estou tentando compreender como podemos usar um gás para construir um motor que transforme a energia térmica em trabalho, ou mesmo em energia de movimento!

Cristiana, que já tinha escutado esse assunto durante todo o jantar na casa de Alberta e Gaspar, desistiu de continuar a conversa com Maristela. Roberto, por sua vez, se interessou pelo assunto, pois tinha pensado em fazer um curso de mecânica para não precisar mais levar o carro ao conserto e economizar um dinheirão. Ele perguntou para Maristela:

- Você já falou tanto na expansão de um gás realizando trabalho. Por que você não usa isso?
- Essa é a idéia! – disse Maristela. – Só que, para que um motor funcione continuamente, precisamos de uma quantidade enorme de gás, de forma que seria muito caro montar um recipiente que abrigasse todo esse volume!

Cristiana, que estava ouvindo a conversa, lembrou da panela de pressão e disse, com ar de entendida:

- Por que não usa uma panela de pressão? Se você conseguisse controlar o vapor que sai pela válvula de segurança, poderia usá-lo para alguma coisa.

Maristela quase não acreditou no que ouviu. Era a solução! Rapidamente, disse:

- Sem dúvida é uma boa idéia, mas usar uma panela de pressão para fazer um motor é muito perigoso! Mas, como a idéia é boa, pelo menos vamos fazer um pequeno projeto de máquina a vapor!

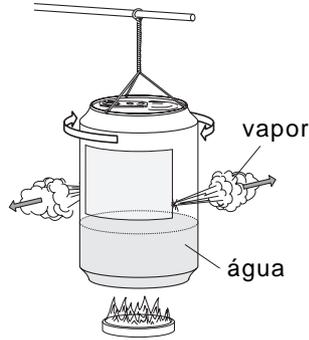
## Projetando a máquina a vapor

Sábado pela manhã, Roberto e Cristiana estavam na casa de Maristela. Como Ernesto tinha ido passar o fim de semana com a avó, o casal estava com o tempo mais livre.

Maristela pesquisou numa enciclopédia que tinha em casa e descobriu que a máquina a vapor é uma das máquinas mais antigas. Heron, um grego, já havia construído uma máquina a vapor. Só que, naquela época, ela não era usada como máquina, mas como curiosidade a ser observada.



– Eu construí um modelo da máquina de Heron com um material bem simples. Vejam aqui: quando esquentamos o fundo da lata, ela começa a se movimentar!

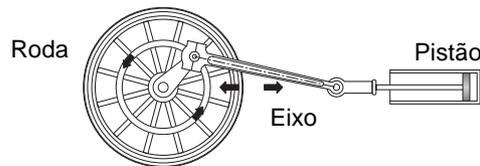


– É impressionante – falou Roberto –, poderíamos usar uma máquina dessas, um pouco maior, para puxar o jornal lá da portaria!

– Falou o preguiçoso! Assim você não vai emagrecer nunca! – observou Cristiana.

Maristela puxou, então, uma grande folha de papel, começou a desenhar e falou:

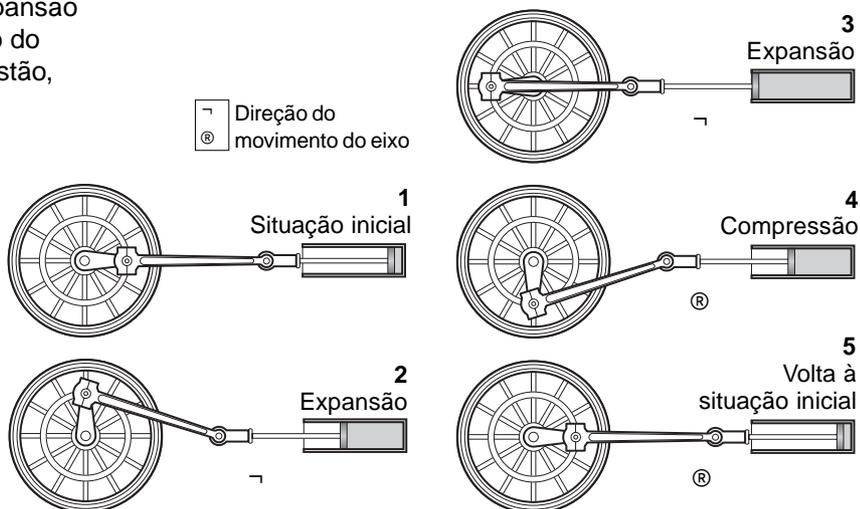
– Você tem razão, Roberto. Para puxar um peso como o de um jornal, a máquina teria de ser bem maior, ou pelo menos teria de ser uma máquina **mais eficiente!** Você já viu como é a roda de uma locomotiva? É mais ou menos assim:



– Também sabemos que um gás se expande quando aquecido. É o que acontece na panela de pressão, como nos lembrou ontem a Cristiana – completou Maristela.

– Exato! – disse Roberto. – Numa locomotiva, ao aquecermos o gás no interior do êmbolo ele se expande, empurrando o eixo que gira a roda um quarto de volta. Quando o gás se expande completamente, a roda gira meia volta. Quando o gás esfria, se contrai, diminuindo seu volume e puxando o eixo de volta, e fazendo com que a roda gire mais um quarto de volta. Finalmente, quando o gás está totalmente comprimido, o pistão e o eixo voltam à situação inicial.

Etapas de expansão e compressão do gás em um pistão, numa roda de locomotiva

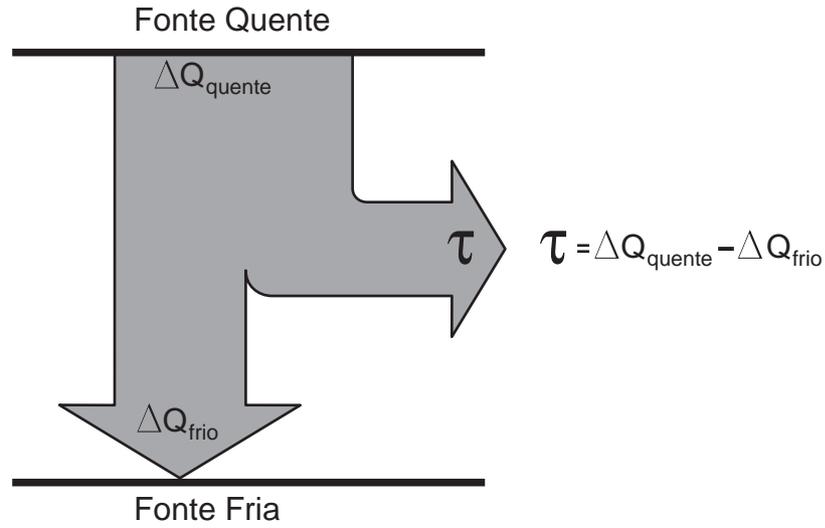


## O rendimento de uma máquina

– É claro que queremos uma máquina eficiente, ou seja, que a energia que fornecemos a ela seja quase toda transformada em trabalho – disse seriamente Maristela. – Podemos até escrever de forma matemática o rendimento de uma máquina, como:

$$\eta = \frac{\tau}{\Delta Q_{\text{quente}}}$$

– Portanto, o rendimento é a razão entre o que é utilizado pela máquina (**energia útil**), ou seja, o trabalho ( $\tau$ ) realizado pela máquina, e o calor fornecido pela fonte quente ( $\Delta Q_{\text{quente}}$ ). Vamos fazer um esquema da máquina térmica.



Roberto, ao ver o esquema, comentou:

– Do jeito que está aí, o trabalho realizado pela máquina é igual à diferença entre o calor que entra na máquina ( $\Delta Q_{\text{quente}}$ ) e o calor que sai da máquina ( $\Delta Q_{\text{fria}}$ )! Veja só...

$$\tau = \Delta Q_{\text{quente}} - \Delta Q_{\text{fria}}$$

– Por que você não substitui essa equação na que Maristela escreveu? — disse Cristiana, completamente envolvida no assunto. Assim teremos uma relação entre o rendimento e as trocas de calor envolvidas:

$$\eta = \frac{\tau}{\Delta Q_{\text{quente}}} = \frac{\Delta Q_{\text{quente}} - \Delta Q_{\text{fria}}}{\Delta Q_{\text{quente}}} = 1 - \frac{\Delta Q_{\text{fria}}}{\Delta Q_{\text{quente}}}$$

$$\eta = 1 - \frac{\Delta Q_{\text{fria}}}{\Delta Q_{\text{quente}}}$$

– Fantástico! – gritou Maristela. – Agora fica fácil entender o rendimento! Prestem atenção: se todo calor cedido pela fonte quente for recebido pela fonte fria ( $\Delta Q_{\text{quente}} = \Delta Q_{\text{fria}}$ ), significa que não vai sobrar nenhuma energia para realizar o trabalho ( $\tau$ ), e somente haverá uma troca de calor entre a fonte quente e a fonte fria, ou seja, a razão

$$\frac{\Delta Q_{\text{fria}}}{\Delta Q_{\text{quente}}} = 1$$

E o rendimento é nulo:  $\eta = 1 - 1 = 0$

- Isso significa que a máquina não vai funcionar!
- É verdade! – falou Roberto. – A melhor situação é aquela em que a razão entre o calor que sai e o calor que entra é bem pequena! Nessa situação quase todo o calor cedido pela fonte quente irá se transformar em trabalho!
- Sem dúvida – aprovou Maristela. – Precisamos então de duas fontes térmicas com temperaturas bem diferentes para aumentar o rendimento da máquina térmica! Vamos dar uma olhada na minha enciclopédia!

## A máquina a vapor e a segunda lei da termodinâmica

Uma das conseqüências da segunda lei da termodinâmica aplicada à construção de máquinas térmicas é o estabelecimento de uma fonte “quente” e de uma fonte “fria” para que se consiga obter trabalho da máquina.

Os motores utilizados lá pela metade do século XVIII eram construídos sem o conhecimento da teoria termodinâmica, que estava sendo elaborada na mesma época. James Watt foi a primeira pessoa a projetar uma máquina a vapor para realizar trabalho. Esse foi o princípio que levou à construção das locomotivas a vapor.

Outro cientista, Sadi Carnot, estabeleceu o limite da eficiência de uma máquina térmica, isto é, Carnot definiu como obter o máximo de trabalho com o mínimo de energia, criando assim o **ciclo de Carnot**. Esse ciclo nada mais é que uma receita de como construir um motor ideal. Na realidade, é um motor teórico, mas serve para nos dizer o que é possível contruir e o que não é!

Carnot demonstrou que a quantidade de calor cedida pela fonte quente é diretamente proporcional à sua temperatura, assim como a temperatura da fonte fria é diretamente proporcional à quantidade de calor recebida ao final da transformação, isto é:

$$\Delta Q_{\text{quente}} \propto T_{\text{quente}}$$

$$\Delta Q_{\text{fria}} \propto T_{\text{fria}}$$

O que nos permite escrever:

$$\frac{\Delta Q_{\text{fria}}}{\Delta Q_{\text{quente}}} = \frac{T_{\text{fria}}}{T_{\text{quente}}}$$

Ou, ainda, em termos do rendimento da máquina térmica:

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{fria}}}{T_{\text{quente}}}$$

– É claro! – anunciou Maristela. – Se a fonte fria estivesse a uma temperatura de 0 Kelvin, todo calor da fonte quente se transformaria em trabalho e o rendimento seria de 100%, ou seja:

$$\eta = 1$$

– Mas 0 Kelvin, o zero absoluto, não pode ser alcançado! – disse Roberto. – Eu me lembro de você ter dito isso uma vez.

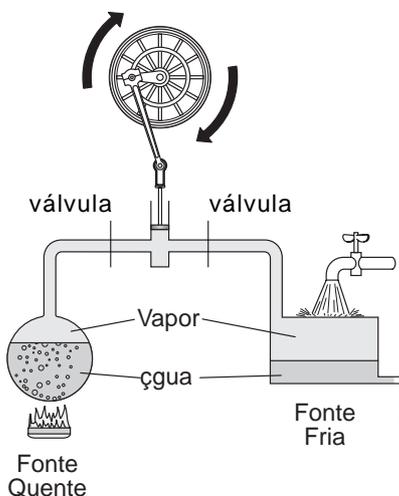
– É verdade! Isso significa que é impossível obter o rendimento igual a 1. Esse é o significado da segunda lei da termodinâmica. O calor passa espontaneamente do corpo quente para o corpo frio. Nessa passagem, podemos aproveitar para obter algum trabalho se tivermos uma máquina, mas há sempre uma parte de calor que vai para a fonte fria e não pode ser utilizada pela máquina térmica.

– Ah! Isso é o que chamam de processo irreversível – gritou Cristiana, que, apesar de calada até aquele momento, estava prestando muita atenção.

### Enfim, a máquina

– Já sabemos que nossa máquina terá um rendimento menor que 1 – disse Maristela. – Sabemos que precisamos de uma fonte fria e de uma fonte quente para obter trabalho do gás, e sabemos também que, quanto maior a diferença de temperatura entre as duas fontes, maior será o rendimento da máquina térmica. Agora só falta o desenho final!

Maristela, então, pegou o papel e fez um desenho da sua máquina térmica movida a vapor:



Com o desenho, todos ficaram satisfeitos. Depois se entreolharam, até que Cristiana perguntou:

– Quem vai construir essa máquina?

Roberto ainda fez uma brincadeira:

– É... Acho que, para construir essa máquina, vamos ter de trabalhar muito mais do que ela!

Todos riram, mas ninguém disse que não construiria.

### Aquecer é fácil, difícil é esfriar!

Uma das máquina mais utilizadas hoje em dia é o **refrigerador**. Sua invenção foi realmente de grande ajuda para as pessoas, que passaram a preservar seus alimentos por mais tempo.

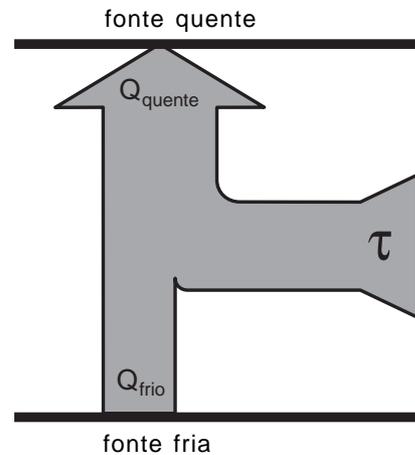
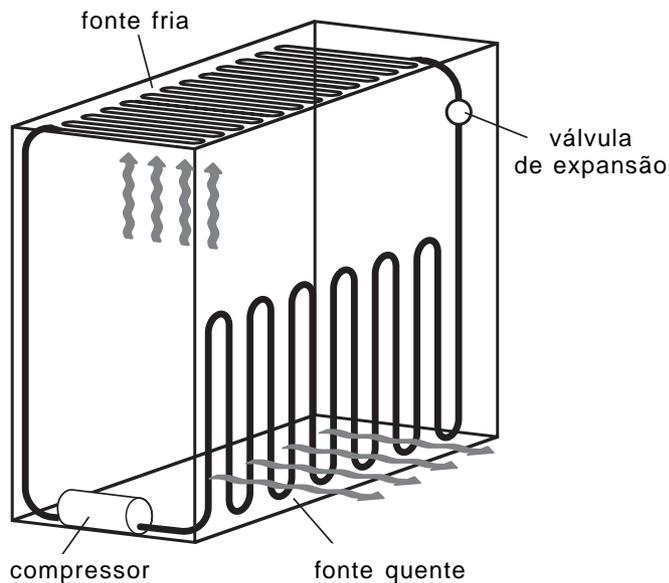
O refrigerador parte um princípio muito simples: se o calor não sai espontaneamente de um corpo frio para um corpo quente, nós vamos forçá-lo a sair! Em vez de o gás realizar trabalho, nós realizaremos trabalho sobre ele!

Como isso é feito? Trata-se de outro processo em que ocorrem transformações gasosas.

Sabemos que, quando expandimos um gás, sua pressão diminui, assim como sua temperatura. Por um cano fino que passa pelo interior da geladeira, um gás é solto e se expande a baixa pressão. Nessa expansão, a temperatura do gás diminui. Com isso, o gás retira calor do ambiente que está a sua volta, ou seja,

do interior da geladeira. Um compressor que está na geladeira comprime o gás (freon, em geral) que se encontra numa câmara.

Você pode observar que atrás de sua geladeira existe outro cano, fino e comprido, por onde o gás sai do interior da geladeira. Ele libera o calor para a atmosfera, para novamente repetir o processo.



### E como funciona?

O motor a gasolina é mais eficiente do que a máquina a vapor. Isso significa que a energia térmica cedida pela gasolina é maior.

Esse tipo de motor é chamado de **motor de quatro tempos**, pois segue basicamente as quatro etapas seguintes:

1. **Compressão:** uma mistura de gasolina e ar é injetada, pela válvula de admissão, no interior da câmara de combustão. Quando a válvula de admissão é fechada, o pistão sobe, comprimindo a mistura, o que aumenta sua pressão e temperatura.
2. **Ignição:** o dispositivo chamado **vela** solta uma faísca e inflama a mistura, que está extremamente comprimida, provocando uma explosão. Essa explosão gera gases residuais a uma pressão muito maior.
3. **Expansão:** com o aumento da pressão e da temperatura, os gases residuais da explosão se expandem rapidamente, impelindo o pistão para baixo.
4. **Exaustão:** neste momento, a válvula de escape está aberta e a de admissão está fechada, permitindo que os gases residuais saiam da câmara de combustão para que o ciclo se reinicie.

Vários tipos de motores foram construídos em busca de melhor rendimento, alguns com quatro cilindros, outros com seis. Mas, mesmo assim, o rendimento de motores a combustão ainda é muito baixo.

Depois de todo esse estudo, Cristiana, Roberto e Maristela resolveram almoçar na casa da mãe de Roberto, para ver como estava Ernesto. Quando Roberto tentou ligar o carro, esse não deu sinal de vida. Imediatamente, Cristiana disse:

– Está sem bateria...

E Maristela emendou:

– Sem bateria a vela não pode soltar a faísca. Por isso, a mistura de ar e gasolina não pode explodir!

Roberto ficou irritado.

– Pois bem. Já que a bateria não quer trabalhar, as duas sabidonas podem começar a empurrar o carro!

Maristela e Cristiana caíram na gargalhada e desceram para empurrar.

Nesta aula você aprendeu:

- como funciona uma máquina térmica;
- os princípios de uma máquina a vapor;
- que existe um limite máximo para a transformação de calor em trabalho;
- que esse limite pode ser mostrado pelo rendimento  $\eta$  da máquina;
- que é necessário uma fonte quente e uma fonte fria para que se possa obter trabalho de uma máquina térmica;
- que o limite do rendimento de uma máquina térmica está contido na expressão da segunda lei da termodinâmica;
- os princípios básicos de funcionamento de um refrigerador;
- os princípios básicos de funcionamento de um motor a gasolina de quatro tempos.



### Exercício 1

Calcule o trabalho realizado pelo motor de geladeira que retira 1.000 cal do congelador e joga no ambiente 1.200 cal.

### Exercício 2

Qual é o rendimento máximo de uma máquina térmica que opera entre a temperatura de  $27^{\circ}\text{C}$  e  $227^{\circ}\text{C}$ ? (Dica: para usar a equação de rendimento, a temperatura deve estar em Kelvin)

### Exercício 3

Um motor térmico realiza 20 ciclos por segundo. A cada segundo, ele retira 800 J da fonte quente e cede 500 J à fonte fria. Calcule:

- a) o rendimento de cada ciclo;
- b) a temperatura da fonte quente, sabendo que a fonte fria está a  $27^{\circ}\text{C}$ .