

CONFECCÃO DE UM MOTOR *STIRLING* APLICADO AO ENSINO DE TERMODINÂMICA

Elson Fernando Damaso de Araujo; Tâmara Pereira Ribeiro de Oliveira Lima e Silva

Universidade Estadual da Paraíba, Campus Campina Grande-PB/ elsonfernando@oi.com.br

RESUMO: Neste trabalho, um motor Stirling (de combustão externa) foi projetado e construído como proposta didática para o Ensino da Termodinâmica. Sua confecção, a partir de materiais de baixo custo, tem o objetivo de simular o funcionamento de uma máquina térmica de ciclos contínuos (partindo do conceito de transferência de calor). Em sala de aula (nos níveis médio e de graduação universitária), ele pode ser usado como facilitador do aprendizado, permitindo a visualização, na prática, de conceitos como conservação de energia e processos termodinâmicos tais como compressão e expansão isotérmica. O aparato também pode ser utilizado para discutir o ciclo de Carnot, através de uma abordagem experimental do limite teórico de rendimento máximo de uma máquina térmica.

Palavras Chaves: Motor Stirling, Combustão Externa, Termodinâmica.

INTRODUÇÃO

A abordagem experimental, aliada aos conceitos teóricos da Física, desempenha um papel cada vez mais importante no Ensino. A manipulação de um experimento científico pelo estudante colabora para aumentar sua curiosidade sobre o tema permitindo, muitas vezes, que certos conceitos na Física sejam absorvidos naturalmente sem que se precise, inicialmente, recorrer ao uso de equações. Isto colabora para melhorar a compreensão dos estudantes de graduação em relação a temas básicos como, por exemplo, as Leis da Termodinâmica [1].

Quando o aluno se depara com a disciplina de Física no Ensino Médio, a primeira reação geralmente é o medo. O grande poeta e escritor Ruben Alves expõe em um de seus vídeos: “É impossível aprender com medo”. E, para diminuir a apreensão e desconforto com a disciplina, o educador deve disponibilizar ferramentas e métodos para que o aprendizado aconteça da melhor e mais prazerosa forma possível.

Os professores do Ensino Médio já estão orientados pelos parâmetros Curriculares Nacionais a enfatizar aos alunos que, mais do que reproduzir dados, eles devem dominar classificações e identificar símbolos; ou seja, é necessário dar sentido ao que se está aprendendo.

Por tais razões este trabalho, além de abordar a questão teórica e prática do motor de *Stirling*, propõe soluções pedagógicas para o ensino, em sala de aula, de temas associados à Termodinâmica [2]. Para tanto, uma máquina térmica de ciclos contínuos (motor de combustão externa), que tem como base de funcionamento o princípio da transferência de calor [3] entre uma fonte quente e outra fria, foi confeccionada a partir de materiais de baixo custo e seu comportamento foi analisado experimentalmente.

METODOLOGIA

O motor *Stirling* é um motor de combustão externa, bem diferente dos motores de combustão interna como os dos automóveis, por exemplo. O princípio de funcionamento de um motor desse tipo é que uma quantidade fixa de gás encontra-se encerrada no interior do motor, fazendo-o funcionar em um ciclo termodinâmico, composto em quatro fases e executando-as em dois tempos do pistão que realiza o trabalho.

O motor *Stirling* utilizado neste projeto foi o “Gama”, cujos cilindros estão alinhados horizontalmente, ligados a um eixo que está afixado à um volante de inércia que também balanceia o sistema.

O motor é constituído por dois pistões; um converte o ar comprimido em trabalho mecânico (através do uso de uma seringa) e o outro é o pistão de deslocamento (fazendo-se uso de uma latinha de energético), que faz um movimento de “vai e vem” dentro do cilindro de pressão que tem duas extremidades diferentes:

- A proveta, que é a fonte quente (com temperatura T_1) e;
- O dissipador de alumínio (à temperatura ambiente) que é a fonte fria (com temperatura T_2).

Ambas as fontes são conectadas mecanicamente em um eixo de manivelas em quadratura de fase. Quando um pistão atinge uma das extremidades, o outro encontra-se a meio caminho. O pistão de deslocamento tem a função exclusiva de movimentar o ar aquecido da extremidade da proveta, fonte quente, para o dissipador de alumínio, fonte fria, e vice-versa. Ele não realiza trabalho. Também foi usada uma lamparina para alimentar a fonte quente e demonstrar o motor de *Stirling* funcionando como máquina térmica, neste caso com $T_1 > T_2$.

A Figura 1 ilustra o funcionamento dos cilindros do motor, dividido nas quatro fases abaixo:

- 1) Fase 1: representa um aquecimento isocórico;
- 2) Fase 2: representa uma expansão isotérmica;
- 3) Fase 3: representa um resfriamento isocórico e;
- 4) Fase 4 (fechando o ciclo): representa uma compressão isotérmica.



Afixado ao volante, encontra-se uma polia que faz o acoplamento do motor *Stirling* a um motor de corrente contínua que, nesse caso, faz o papel de gerador de energia elétrica, ao qual está conectado uma lâmpada (LED) que acende quando o motor está em funcionamento, sendo um exemplo de aplicação do processo.

Ainda que a lamparina tenha sido usada como fonte quente para demonstração do funcionamento desse motor, a idéia principal do projeto é a utilização dos raios solares como fonte de energia direta, que o fará funcionar através de um sistema óptico de lentes convergentes e/ou utilizando-se uma parábola espelhada focalizar a luz.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como observado na Figura 2, o aparato funcionou de modo perfeito, uma vez que todas as fases descritas anteriormente ocorreram de forma satisfatória. O volante de inércia do motor foi girado em velocidade suficiente o que fez com que, através de correias acopladas ao gerador, este fosse capaz de fornecer a energia necessária para acender um LED, demonstrando assim o funcionamento da máquina experimentalmente.

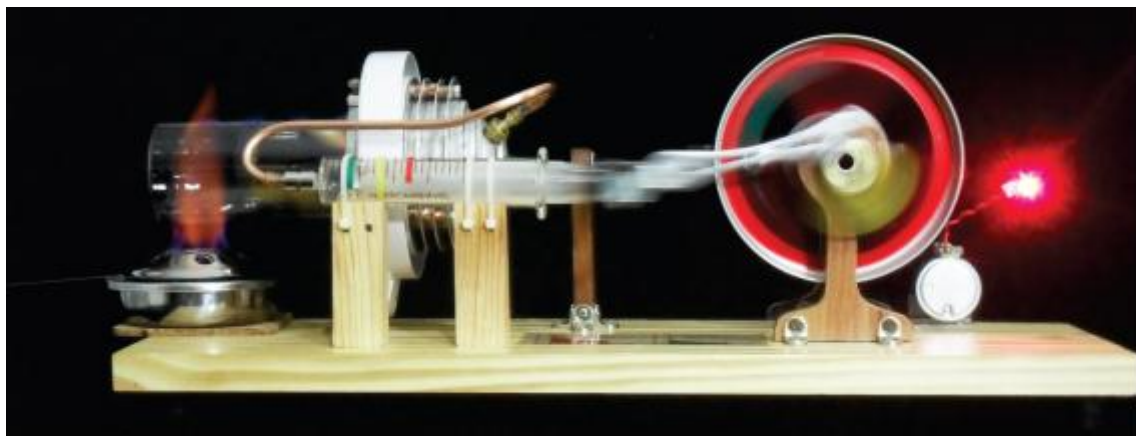


Figura 2: Motor *Stirling* em funcionamento.

O experimento permitiu visualizar as Leis da Termodinâmica de forma prática e de fácil entendimento ao público alvo para quem foi projetado. Devido à grande proximidade do Ciclo de *Stirling* com o de *Carnot* (considerado como sendo o de uma máquina ideal), pode-se fazer uma comparação entre eles, como representado pela Figura 3.

Também foi possível visualizar a ocorrência do princípio da conservação da energia [4], no instante em que aconteceram os fenômenos de troca de calor; este é um dos enfoques da referida máquina [5].

Na confecção do motor, observou-se a sua auto sustentabilidade uma vez que, semelhantemente ao uso de células fotovoltaicas que alimentam baterias, este motor pôde aproveitar a luz solar como fonte direta de energia, sendo esta uma energia limpa e abundante naturalmente. A fonte substitui satisfatoriamente a lamparina, uma vez que se trata de motor de combustão externa.

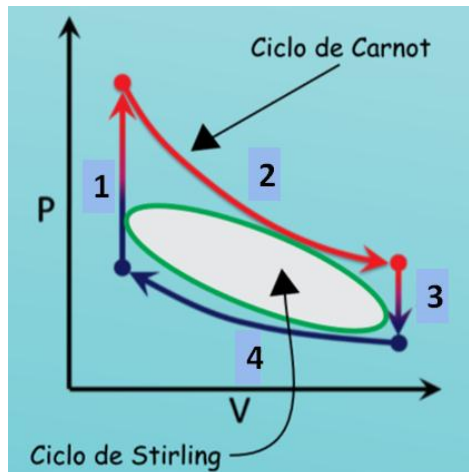


Figura 3: Comparação entre os Ciclos de Carnot (para uma máquina ideal) e o ciclo de *Stirling* (base de funcionamento da máquina projetada neste trabalho). Os números correspondem aos processos termodinâmicos associados às fases do motor descritas na Figura 2.

CONCLUSÕES

O experimento teve êxito desde a coleta do material necessário para a sua confecção até a realização do teste final.

A máquina confeccionada neste trabalho demonstrou que é possível inserir uma simples tecnologia artesanal (de baixo custo) nas aulas de Física; e que tal dispositivo pode se tornar instrumento didático nas aulas sobre Termodinâmica, e também como proposta de kit experimental nesta área para os professores de instituições que não disponham de laboratórios equipados para realização de experimentos sofisticados.

Como perspectiva deste trabalho, para fins didáticos, pode-se fazer a operação inversa; ou seja, aplicando-se tensão de corrente contínua no motor elétrico (gerador), que por sua vez faz girar o volante, o motor *Stirling* pode ser usado como bomba térmica ($T_1 > T_2$), ou como refrigerador ($T_1 < T_2$), dependendo do sentido de rotação do volante; contribuindo, assim, como facilitador de aprendizado de mais exemplos de máquinas termodinâmicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. WALKER; **Stirling Engines**, Oxford Univ. Press (1980).
- [2] A.M.F. PASSOS; M. A. MOREIRA; **Avaliação do Ensino de Laboratório: Uma Proposta**

Alternativa, *Revista Brasileira de Física*, v. 12, p. 375 (1982).

[3] F. REIF; **Fundamentals of Statistical and Thermal physics**, McGraw-Hill (1965).

[4] J. C. PASSOS; **Os Experimentos de Joule e a Primeira Lei da Termodinâmica**, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31 (2009).

[5] S. A. QUADOS; **Termodinâmica e a Invenção das Máquinas Térmicas**. Editora Scipione (2008).