

## UTILIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS E UM MOTOR STIRLING NO ENSINO DA PRIMEIRA E SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA NO ENSINO MÉDIO.

### USE OF EXPERIMENTS AND A STIRLING MOTOR IN THE TEACHING OF THE FIRST AND SECOND LAWS OF THERMODYNAMICS IN HIGH SCHOOL.

**André Henrique Torres Müller<sup>1</sup>, Flavio Gimenes Alvarenga<sup>2</sup>, Gustavo Viali Loyola<sup>3</sup>, Rodrigo Dias Pereira<sup>4</sup>, André Luiz Alves<sup>5</sup>.**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, andrehtmm@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, flavio.alvarenga@ufes.br

<sup>3</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, gustavo.loyola@ufes.br

<sup>4</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, rodrigo.pereira@ufes.br

<sup>5</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/Departamento de Ciências Naturais, andre.alves@ufes.br

#### Resumo

Neste trabalho propomos o ensino das primeira e segunda leis da termodinâmica com o emprego de experimentos, tais como um protótipo de motor Stirling beta e alguns aparatos menores, como bomba de encher pneus, tubo de vidro preso a uma seringa e um lançador de foguetes com garrafa plástica fixa. Adotamos como referencial teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel utilizando o conhecimento prévio que o aluno tem sobre o conceito de calor, pois para Ausubel, a Aprendizagem Significativa somente é possível quando um novo conhecimento se relaciona de forma substantiva e não arbitrária a outro já existente. Para que essa relação ocorra, é preciso que exista uma predisposição para aprender. Com isso buscamos uma aprendizagem potencialmente significativa de termodinâmica nos alunos de nível médio e para isso tentamos demonstrar de forma visual e clara o emprego de cada conceito nos experimentos, organizando-os numa sequência de forma a construir no seu pensamento o tema em questão.

**Palavras-chave:** Termodinâmica, Motor Stirling, Teoria da Aprendizagem Significativa.

#### Abstract

In this work we propose to teach the first and second laws of thermodynamics with the use of experiments, such as a prototype of a Stirling beta engine and some smaller devices, such as a tire inflation pump, a glass tube attached to a syringe and a rocket launcher with fixed plastic bottle. We adopted Ausubel's Theory of Meaningful Learning as a theoretical framework using the

previous knowledge that the student has about the concept of heat, because for Ausubel, Meaningful Learning is only possible when a new knowledge relates substantially and not arbitrarily to another already existing. With this, we seek a potentially significant learning of thermodynamics in the middle level students and for that we try to demonstrate in a visual and clear way the use of each concept in the experiments, organizing them in a sequence in order to build their thinking on the theme in question.

**Keywords:** Thermodynamics, Stirling Motor, Ausubel's Theory.

### Introdução

A primeira e segunda leis da termodinâmica fazem parte do conteúdo de termodinâmica que é lecionado para os alunos do ensino médio na rede pública (Brasil, 1999). Quando o professor alcança o ensino destes conteúdos, os alunos já deveriam ter estudado conceitos fundamentais, tais como: temperatura, calor, condutividade térmica, comportamento dos gases ideais, transformações gasosas e as relações de trabalho em uma transformação gasosa.

A primeira lei da termodinâmica (princípio da conservação de energia) envolve as grandezas calor, trabalho e variação da energia interna do sistema, no qual é preciso fazer um balanço energético, para sabermos quando essas grandezas assumem valores positivos, negativos ou nulos.

A segunda lei da termodinâmica no ensino médio é associada a máquinas térmicas e abordada através de dois enunciados, o de Kelvin e o de Clausius. Os enunciados vêm estabelecer condições para que as transformações térmicas possam ocorrer. Um enunciado trata da conversão de calor em trabalho por meio de máquinas térmicas, conforme afirma Kelvin:

*“É impossível para uma máquina, operando em um ciclo, produzir como único efeito o de retirar calor de um único reservatório e realizar uma quantidade equivalente de trabalho.” (TIPLER, 2009).*

O outro enunciado, considera o sentido de ocorrência dos fenômenos naturais, o qual afirma Clausius:

*“Um processo cujo único resultado efetivo seja o de retirar calor de um reservatório frio e liberar a mesma quantidade de calor para um reservatório quente é impossível.” (TIPLER, 2009).*

Com este enunciado, Clausius previne a existência de um “refrigerador miraculoso”, sendo o refrigerador uma máquina térmica funcionando em ciclo reverso, na qual não ocorreriam dissipações de energia e todo o calor extraído do reservatório quente, seria convertido integralmente em trabalho. É importante ressaltar que os dois enunciados são equivalentes (ZEMANSKY, 1978).

Quando estes enunciados são apresentados em sala de aula, temos as explicações do funcionamento de uma máquina térmica. Uma máquina térmica segue a segunda lei da termodinâmica, e para converter calor em trabalho de forma contínua, deve operar em ciclo entre duas fontes térmicas, retirando calor da fonte quente e convertendo parte desse calor em trabalho, o restante da energia é rejeitado para a fonte fria.

Esse trabalho objetiva investigar os impactos da utilização de experimentos e um protótipo de motor Stirling no ensino de conteúdos de Termodinâmica com o

embasamento da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), com ênfase nos seguintes aspectos: elaboração de uma sequência didática envolvendo os conceitos das primeira e segunda leis da termodinâmica aplicadas ao conteúdo específico de máquinas térmicas; pesquisa sobre o impacto nos alunos da utilização de uma sequência didática desenvolvida como forma de construção do conhecimento.

### **Referencial teórico**

Para Ausubel, a aprendizagem significativa somente é possível quando um novo conhecimento se relaciona de forma substantiva e não arbitrária a outro já existente. Para que essa relação ocorra, é preciso que exista uma predisposição para aprender. Ao mesmo tempo, é necessária uma situação de ensino potencialmente significativa, planejada pelo professor, que leve em conta o contexto no qual o estudante está inserido e o uso social do objeto a ser estudado. O uso de experimentos proporciona aos alunos a oportunidade de interação direta com os conceitos físicos estudados, despertando assim, a participação e a curiosidade na discussão da matéria.

*A essência do processo de aprendizagem significativa é que as ideias expressas simbolicamente são relacionadas às informações previamente adquiridas pelo aluno através de uma relação não arbitrária e substantiva (não literal). (AUSUBEL, 1980, p. 34)*

Assim propomos trazer ao aluno uma aprendizagem que o satisfaça por intermédio da construção de conhecimento. "Quanto maior o número de *links* feitos, mais consolidado estará o conhecimento" (AUSUBEL, 1968). É através de atividades interativas que o aluno relaciona o fenômeno apresentado com o mundo em que vive e a cultura na qual está inserido. Desta forma, o professor deve facilitar a aprendizagem utilizando-se das atividades experimentais e criar um ambiente propício ao favorecimento do processo de autonomia da própria aprendizagem. Para formar um conceito o indivíduo tem que ter vivenciado o fato. Cabe ao professor mediar estes conflitos para proporcionar a evolução do conhecimento. Ele poderá direcionar e controlar esta evolução, para que o aluno possa atingir o melhor do seu potencial sobre o tema abordado.

A aprendizagem significativa, por definição, envolve a aquisição de novos significados. Estes são, por sua vez, os produtos finais da aprendizagem significativa. Ou seja, o surgimento de novos significados no aluno reflete a ação e a finalização anteriores do processo de aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2000). A essência do processo de aprendizagem significativa, tal como já se comentou, consiste no fato de que novas ideias expressas de forma simbólica (a tarefa de aprendizagem) se relacionam ao que o aluno já sabe (a estrutura cognitiva deste numa determinada área de matérias), de forma não arbitrária e não literal, e que o produto desta interação ativa e integradora é o surgimento de um novo significado, que reflete a natureza substantiva e denotativa deste produto interativo (AUSUBEL, 2000).

### **Procedimentos metodológicos.**

A pesquisa foi realizada em uma escola da rede estadual do ensino médio do Espírito Santo. Participaram da pesquisa um total de 37 alunos da segunda série do ensino médio com idades entre 15 e 16 anos.

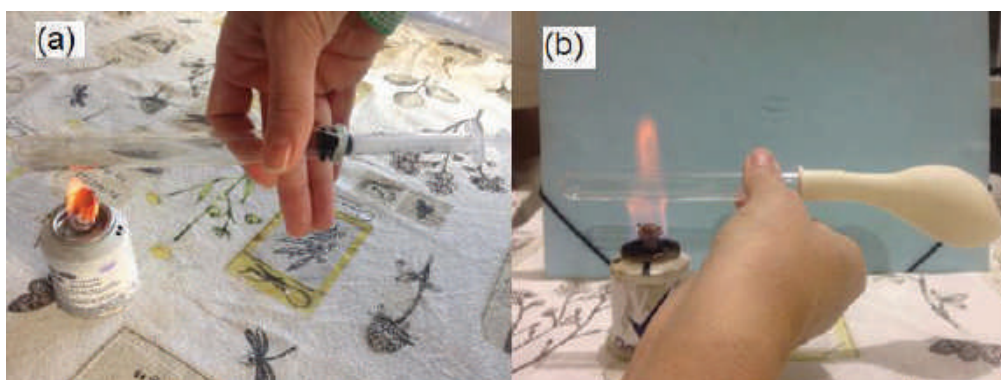
Os dados foram coletados por meio de registros escritos. Foram considerados os resultados das atividades realizadas que incluíram o pré-teste, utilização de materiais instrucionais, questionário relatando o que os alunos acharam da aula e o pós-teste. As atividades foram desenvolvidas em 8 aulas com duração de 55 minutos cada, cabendo ressaltar que os experimentos utilizados foram de caráter demonstrativo, e não houve pretensão de coleta de dados experimentais. A seguir fazemos uma breve descrição das aulas:

- 1ª aula – aplicação do pré-teste;

- 2ª aula – Inicialmente foi fornecido um texto sobre a primeira lei da termodinâmica, para ser lido em sala de aula. Posteriormente foi realizada uma discussão para verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o assunto e de forma geral foram revisados os conceitos de temperatura, calor e condutividade térmica. Em sequência foi apresentada uma barra de alumínio de 30 cm, uma barra de ferro de 30 cm - vergalhão, um pedaço de madeira de 30 cm (parajú), para demonstrar comparativos de condutividade térmica;

- 3ª aula – foram abordados os conceitos da primeira lei da termodinâmica, tendo em vista as dúvidas apresentadas na discussão do texto e dos conhecimentos prévios relacionados ao assunto que os alunos demonstraram durante a discussão. Foi apresentado o primeiro experimento (Figura 1a), com o intuito de verificar a primeira lei da termodinâmica, através das transformações isovolumétricas e isotérmicas com um tubo de ensaio de vidro acoplado numa seringa graduada. Ao realizar o experimento, esperava-se que os alunos por meio de observação visualizassem que o tubo de ensaio estava recebendo calor em transferência da chama para o mesmo e que a temperatura interna do ar estava aumentando. Não havendo variação de volume, fato esse constatado visualmente, visto que, o êmbolo da seringa não se movimentava, concluía-se então que o volume é constante, enquanto a temperatura e a pressão aumentavam proporcionalmente.

Figura 1 - Experimentos utilizados durante as aulas: (a): Experimento tubo de vidro acoplado a uma seringa e (b): Experimento tubo de vidro acoplado a uma bexiga cheia.



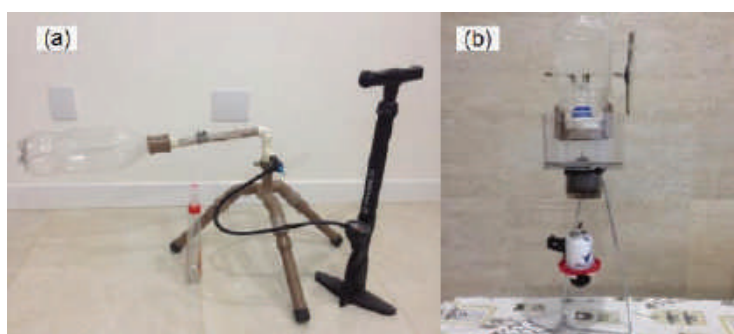
**Fonte:** Autoria própria

- 4ª aula – Nesta aula foi apresentado o segundo experimento, tubo de vidro acoplado a uma bola de soprar na ponta (Figura 1b) - demonstração da transformação isobárica - o processo foi o mesmo do experimento anterior, o tubo foi aquecido através de uma chama, os alunos ficaram observando e perceberam que o balão de soprar começou a encher, porém bem lentamente. O professor então, foi mediando e mostrando que a transformação não é isovolumétrica e como o processo ocorreu bem lentamente, e a bexiga por ser flexível e apresentar resistência quase nula a expansão com o aumento do volume do ar, evitando o

aumento de pressão interna no tubo, mantendo-se a pressão interna do tubo igual a pressão externa ao tubo, de modo que a transformação observada é isobárica.

Ainda na quarta aula, foi utilizado o terceiro experimento (Figura 2a), onde usamos um lançador de foguetes com garrafa pet fixa para demonstrar os conceitos da primeira lei da termodinâmica na transformação adiabática. Primeiramente foi pulverizado álcool dentro da garrafa pet, em seguida conectou-se a garrafa ao lançador, depois utilizou-se a bomba para encher a garrafa com ar do meio externo para dentro da garrafa, neste processo a pressão aumenta, inclusive foi mostrado ao aluno através do manômetro que indicou a pressão aumentando. Foi solicitado a um aluno que encostasse a mão na garrafa pet durante o processo, para ele perceber que a temperatura da garrafa estava aumentando. Quando foi alcançado em torno de 30 PSI (garrafa pet suporta até 150 PSI, segundo testes do fabricante), foi aberto o registro do lançador, liberando rapidamente a saída do ar que se encontrava dentro da garrafa pet.

Figura 2 - Experimentos utilizados durante as aulas: (a): Lançador de Foguetes com garrafa pet fixa e (b): Motor ciclo Stirling modelo Beta.



Fonte: Autoria própria

- 5ª aula – foi fornecido um texto sobre a segunda lei da termodinâmica que foi lido e discutido em sala de aula, de modo a verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o assunto. Nesta aula foram abordados os conceitos de máquinas térmicas (1º e 2º Enunciados) e suas implicações, lembrando rapidamente energia mecânica e enfatizando a história das máquinas térmicas.

- 6ª aula – foi apresentado o motor Stirling tipo Beta com cilindro transparente, Figura 2b, que é uma construção própria dos autores. Foi explicada cada parte que compõe o motor e para que serve. Foi explicado que o motor possui 2 pistões, o primeiro chamado de pistão quente ou deslocador (*Displacer*), cuja função é somente movimentar o ar em um determinado momento para a região aquecida e em outro momento para a região resfriada e o segundo chamado de pistão frio ou trabalho, cuja função é realizar o trabalho.

Utilizando o experimento do tubo com a seringa (3ª aula), construímos com os alunos o princípio do movimento de subida e descida do pistão de trabalho do motor Stirling (transformação isovolumétrica seguida de isotérmica, que são as transformações presentes no ciclo de Stirling). Comparamos o pistão de trabalho do motor com o êmbolo da seringa, a parede da seringa com o cilindro do motor. Então os alunos começaram a ligar os eventos ocorridos no experimento tubo de vidro mais seringa com o motor Stirling. Foi demonstrado no quadro branco o ciclo de Stirling e suas abordagens através do gráfico pressão versus volume ( $P \times V$ ) (HIRATA, 1995), explicando cada etapa envolvida no ciclo. Um detalhado tutorial da montagem do motor Stirling está disponibilizado em (MÜLLER, 2019).



- 7ª aula – continuando a abordagem do motor Stirling, nesta aula, foi apresentado um outro ciclo, o ciclo Otto. Nesta aula foi diferenciado o motor de combustão interna (por exemplo o motor a gasolina que segue o ciclo Otto) e o motor de combustão externa (o motor Stirling). Foi apresentado vídeos demonstrativos/explicativos de motores de combustão interna tipo Otto, contextualizando o uso dos motores termodinâmicos no cotidiano do aluno. Foi mostrada também a geração de energia elétrica com o uso de um motor termodinâmico, para fazer uma associação com usinas termoelétricas, visto que nesta aula é utilizado um motor Stirling tipo gama acoplado a um gerador de energia e uma lâmpada incandescente, Figura 3, citando as 3 modalidades de energia envolvida.

Figura 3 - Motor ciclo Stirling modelo gama



Fonte: Autoria própria.

- 8ª aula – foi aplicado o pós-teste.

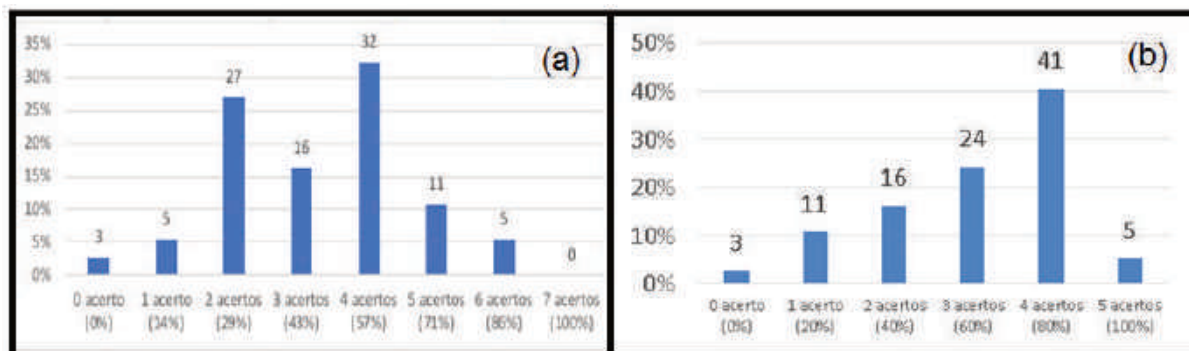
### **Análise de dados**

O pré-teste foi composto por nove questões objetivas. Da questão 1 até a questão 7, abrangemos conceitos como: calor, temperatura, condutividade térmica, com a finalidade de averiguar o que o aluno reteve cognitivamente do conteúdo que foi lecionado anteriormente, que são conteúdos base para a ancoragem do novo conteúdo em questão. Nas questões 8 e 9, abrangemos a primeira e segunda leis da termodinâmica, com o intuito de verificar se algum aluno já tinha visto o conteúdo. O pós-teste foi composto de forma similar ao pré-teste, por dez questões objetivas, desta vez, com a finalidade de averiguar se a sequência das aulas com o uso de experimentos foi capaz de auxiliar no reforço da fixação dos conteúdos estudados.

Faz-se agora uma descrição do pré-teste em comparação com o pós-teste levando em conta o número de alunos com a mesma quantidade de acertos no teste inteiro, por exemplo: aluno A tem 3 acertos em 9 questões, aluno B tem 4 acertos em 9 questões, aluno C tem 3 acertos em 9 questões, aluno D tem 5 acertos em 9 questões, aluno E tem 4 acertos em 9 questões, portanto já temos dois alunos com 3 acertos e dois alunos com 4 acertos e 1 aluno com 5 acerto em 9 questões e assim por diante. A proposta é verificar se o número de acertos aumentará ou não do pré-teste se comparado ao pós-teste, após a aplicação da sequência de aulas com o auxílio dos experimentos.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 4, constatamos que 48% dos alunos ficaram entre 57% e 86% de acertos nos conceitos gerais do pré-teste, em contrapartida, no Pós-teste, 70% dos alunos alcançaram entre 60% e 100% de acertos no pós-teste, demonstrando uma melhora no número de acertos após a aplicação da sequência didática.

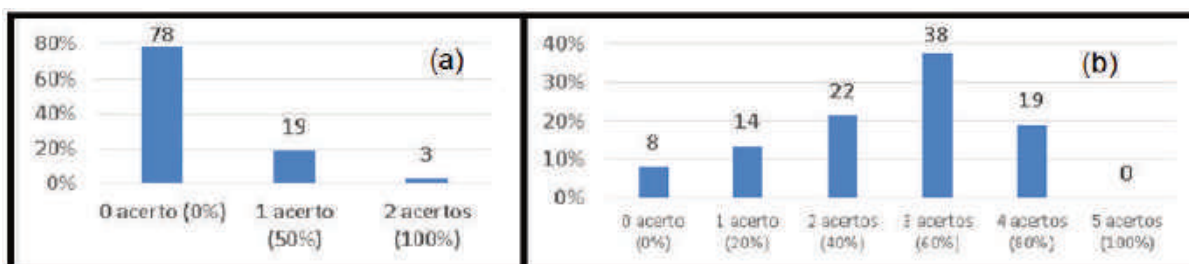
Figura 4 – Porcentagem de alunos em função do número de acertos (a) questões 1 a 7 do Pré-teste e (b) questões 1 a 5 do Pós-teste, aplicados durante a aplicação da sequência didática.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 05, constatamos que 78% dos alunos não obtiveram nenhum acerto nas questões relacionadas a primeira e segunda leis da termodinâmica, demonstrando que em sua grande maioria, os alunos não tinham conhecimento sobre esse assunto no momento do pré-teste, em contrapartida, no Gráfico 04, 38% dos alunos alcançaram 60% de acertos e 19% obtiveram 80% de acertos no pós-teste, demonstrando uma boa assimilação do conteúdo de termodinâmica, após a aplicação da sequência didática.

Figura 5 - Porcentagem de alunos em função do número de acertos (a) questões 8 e 9 do Pré-teste e (b) questões 6 a 10 do Pós-teste, aplicados durante a aplicação da sequência didática.



Fonte: Autoria própria

### Considerações finais

Neste trabalho discutimos os conceitos físicos envolvidos nas primeira e segunda leis da termodinâmica com a utilização de experimentos de baixo custo, buscando demonstrar de forma visual e didática o emprego de cada conceito físico nos experimentos, organizando-os numa sequência de forma a construir o pensamento do aluno sobre o tema em questão. As análises de dados efetuadas validam a sequência didática, aplicada com experimentos demonstrativos, como um

estudo de caso. Finalmente, um tutorial explicando detalhadamente a montagem dos experimentos desta sequência didática, também está disponibilizado em <http://www.ensinodefisica.ufes.br/pt-br/pos-graduacao/PPGEnFis/detalhes-da-tese?id=13526> (MÜLLER, 2019).

## Agradecimentos

A CAPES e a FAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo) pelo suporte financeiro.

## Referências

AUSUBEL, D.P. (1968). **Educational psychology: a cognitive view**. 1ª ed. New York, Holt, Rinehart and Winston.

AUSUBEL, David Paul. **Psicologia Educacional**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**. 1ª ed. Lisboa, Plátano Edições Técnicas, 2000.

Brasil, Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília, 1999.

HIRATA, K. **Schmidt theory for Stirling Engines**. Stirling Engine home page. Disponível em: <http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/> . Acesso em 14 jan. 2019.

MÜLLER, A. T. **Estudo das primeira e segunda leis da termodinâmica com o emprego de experimentos e um motor Stirling**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – PPGEnFis - UFES, Vitória, 2019. Disponível em <http://www.ensinodefisica.ufes.br/pt-br/pos-graduacao/PPGEnFis/detalhes-da-tese?id=13526>. Acesso em: fevereiro de 2020.

TIPLER, P. A. **Física para engenheiros e cientistas** Vol. 1. 6ª ed. Editora LTC: Rio de Janeiro, 2009.

ZEMANSKY, M. W. **Calor e Termodinâmica**. 5ª ed. Editora Guanabara Dois. Rio de Janeiro, 1978.