UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**ANDRÉ HENRIQUE TORRES MÜLLER**

# ESTUDO DAS PRIMEIRA E SEGUNDA LEIS DA TERMODINÂMICA COM O EMPREGO DE EXPERIMENTOS E UM MOTOR STIRLING

Vitória – ES
Agosto, 2019

ANDRÉ HENRIQUE TORRES MÜLLER

# ESTUDO DAS PRIMEIRA E SEGUNDA LEIS DA TERMODINÂMICA COM O EMPREGO DE EXPERIMENTOS E UM MOTOR STIRLING

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga
Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Viali Loyola

Vitória – ES

Agosto, 2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

Müller, André Henrique, 1974-
M958e ESTUDO DAS PRIMEIRA E SEGUNDA LEIS DA TERMODINÂMICA COM O EMPREGO DE EXPERIMENTOS E UM MOTOR STIRLING / André Henrique Müller. - 2019.
167 f. : il.

Orientador: Flávio Alvarenga.
Coorientador: Gustavo Loyola.
Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. Termodinâmica. 2. Aprendizagem Significativa. 3. Motor Stirling. 4. Calor. 5. Temperatura. 6. Condutividade Térmica. I. Alvarenga, Flávio. II. Loyola, Gustavo. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Exatas. IV. Título.

CDU: 53

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

# "Estudo das Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica com o emprego de experimentos e um motor Stirling"

**André Henrique Torres Muller**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 20 de agosto de 2019.

**Comissão Examinadora**

Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga
(Orientador PPGEnFis/UFES)

Prof. Dr. Germano Amaral Monerat
(Membro Externo/UERJ)

Prof. Dr. Breno Rodrigues Segatto
(Membro Interno PPGEnFis/UFES)

À minha família, por sempre valorizar os estudos e minha esposa, que sempre me apoiou e incentivou a fazer o mestrado.

## AGRADECIMENTOS

Não se conclui um mestrado sem a participação e apoio de muitos nesta empreitada. Gostaria de agradecer a todos os colegas que cursaram o mestrado comigo e muito contribuíram neste trabalho final.

Agradeço a todos os professores que compõem o corpo docente do mestrado profissional em ensino de Física da UFES, em especial ao professor Flávio Gimenes Alvarenga e ao professor Gustavo Viali Loyola que aceitaram esta parceria e gostaria também de agradecer ao professor Giuseppi Camiletti por suas críticas construtivas e recomendações, que muito contribuíram com o formato final deste trabalho.

À minha família pelo apoio, em especial, meu irmão que cedeu algumas de suas aulas em sua escola, para a aplicação, teste e amadurecimento deste produto.

À minha amada esposa, por todo o companheirismo, paciência e apoio para concluir mais esta etapa em nossas vidas.

À dois grandes amigos, que me encaminharam e me orientaram para alcançar o início desse mestrado, meus amigos Vitor Jurtlero de Freitas e Tarcísio Pelissari Costa.

À Universidade Federal do Espírito Santo que possibilitou a execução desta pesquisa.

À FAPES pelo apoio financeiro concedido através da bolsa.

Não poderia terminar sem deixar de agradecer também a grande parceira de mestrado Luciana Vianna, que sempre me ajudou durante o desenvolvimento do curso e aos alunos que participaram como sujeitos deste trabalho.

“Deixem que o futuro diga a verdade e que avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.”

Nikola Tesla

**RESUMO**

Essa dissertação apresenta uma sequência didática, para o ensino das primeira e segunda leis da termodinâmica a partir de um protótipo de motor *Stirling*. Também foram desenvolvidos experimentos construídos pelo próprio autor como um lançador de foguetes, utilizando pedaços de cano e conexões de policloreto de vinila acoplado a uma garrafa pet fixa e uma bomba de encher pneus; um tubo de vidro preso a uma seringa utilizada em aplicação de medicamentos e um tubo de vidro preso a uma bexiga. Foi priorizada nesta Dissertação de Mestrado a demonstração dos conceitos físicos relacionados aos experimentos apresentados. O referencial teórico que embasa o desenvolvimento desta sequência didática, bem como das estratégias para sua utilização em sala de aula está alicerçada na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, a partir do conhecimento prévio que o aluno tem sobre temperatura e calor, sendo estes alguns dos subsunçores utilizados. É por intermédio da aprendizagem significativa que é proposto trazer ao estudante uma forma de ensino que o satisfaça, segundo o seu contexto histórico-cultural, por intermédio da construção de conhecimento. A sequência didática foi aplicada no segundo semestre de 2018 em 02 turmas da 2ª série do Ensino Médio regular da rede pública do Estado do Espírito Santo, consistindo de 8 aulas expositivas e explicação em lousa dos seguintes conteúdos: (i) transformação dos gases ideais; (ii) trabalho realizado numa transformação gasosa; (iii) 1ª lei da Termodinâmica e sua aplicação às transformações gasosas; (iv) 2ª lei da Termodinâmica com suas aplicações básicas. Foi aplicado um pré-teste antes da utilização da sequência e após seu manuseio foi aplicado um pós-teste. Esse pós-teste teve como objetivos averiguar se o aluno foi capaz de identificar os conceitos de termodinâmica envolvidos nos experimentos empregados, trazendo clareza para os mesmos, incentivar a ideia de como a termodinâmica pode ser ou é aplicada no seu cotidiano em equipamentos e eventos similares ao demonstrado.

**Palavras-chave:** Aprendizagem significativa de Ausubel. Motor Stirling. Termodinâmica.

Vitória – ES

Agosto, 2019

**ABSTRACT**

This dissertation presents a didactic sequence for the teaching of the first and second laws of thermodynamics using a prototype Stirling engine. Moreover, other experiments were developed, such as a rocket launcher using pieces of pipe and polyvinyl chloride connections coupled to a bottle a fixed tube and a pump to fill tires; a glass tube attached to a medical syringe; and a glass tube attached to a balloon. It was emphasize the demonstration of the physical concepts related to the experiments. The theoretical framework that supports the development of this didactic sequence, as well as the strategies for its use in the classroom, is based on David Ausubel's Theory of Significant Learning. This theory is based on the student's previous knowledge about heat, being this one of the subsumers used. Thus, this dissertation proposes the use of meaningful learning to bring to the student a form of teaching that satisfies him regarding his historical-cultural context, for the construction of knowledgement. The didactic sequence was applied in the second semester of 2018 in 02 classes of high school second grade of the public network of the State of Espírito Santo, consisting of 8 lectures and explanation about the following contents: (i) transformation of the ideal gases; (ii) work carried out in a gas transformation; (iii) 1st law of thermodynamics and its application to gaseous transformations; (iv) 2nd law of thermodynamics with its basic applications. A pre-test was applied prior to the use of the sequence and at the end of its usage, a post-test was applied. This pos-test aiming at determine if the student was able to identify the concepts of thermodynamics involved in the employed experiments, and how thermodynamics can be or is applied in his daily life on equipment andevents similar to that shown.

Keywords: Ausubel meaningful learning. Stirling Motor Thermodynamics

Vitória – ES

August, 2019

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1**: Experimento tubo de vidro acoplado a uma seringa.....24
**Figura 2**: Imagem da representação de uma caldeira.....30
**Figura 3**: Imagem da representação esquemática de uma máquina térmica.....30
**Figura 4**: Imagem da representação do resfriamento de um sólido.....31
**Figura 5**: Imagem da representação do resfriamento de um sólido.....32
**Figura 6**: Foto de Robert Stirling.....35
**Figura 7**: Imagem do motor original de Robert Stirling.....35
**Figura 8**: Imagem do motor Stirling desenvolvido pela Philips.....36
**Figura 9**: Desenho em corte do motor Stirling tipo alfa.....38
**Figura 10**: Desenho em corte do motor Stirling tipo beta.....38
**Figura 11**: Desenho em corte do motor Stirling tipo gama.....38
**Figura 12**: Experimento tubo de vidro acoplado a uma seringa.....41
**Figura 13**: Experimento tubo de vidro acoplado a uma bexiga.....42
**Figura 14**: Lançador de Foguetes com garrafa pet fixa.....43
**Figura 15**: Motor ciclo Stirlig modelo Beta.....45
**Figura 16**: Gráfico P x V do ciclo de Stirling.....45
**Figura 17**: Motor ciclo Stirlig modelo gama.....47

## LISTA DE GRÁFICOS

**Gráfico 1:** Questões de 1 a 7 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4.....49
**Gráfico 2:** Questões de 1 a 5 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4.....49
**Gráfico 3:** Questões de 8 a 9 que envolviam os conceitos específicos, conforme descrito no item 4.4.....50
**Gráfico 4:** Questões de 1 a 5 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4.....50
**Gráfico 5:** Questões de 1 a 9 que envolviam todos os conceitos, conforme descrito no item 5.4.....50
**Gráfico 6:** Questões de 1 a 10 que envolviam todos os conceitos, conforme descrito no item 5.4.....50
**Gráfico 7:** Questões de 1 a 7 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4.....51
**Gráfico 8:** Questões de 1 a 5 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4.....51
**Gráfico 9:** Questões de 8 a 9 que envolviam os conceitos específicos, conforme descrito no item 5.4.....51
**Gráfico 10:** Questões de 1 a 5 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4.....51
**Gráfico 11:** Questões de 1 a 9 que envolviam todos os conceitos, conforme descrito no item 5.4.....52
**Gráfico 12:** Questões de 1 a 7 que envolviam todos os conceitos, conforme descrito no item 5.4.....52
**Gráfico 13:** Questões de 1 a 7 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4.....52
**Gráfico 14:** Questões de 1 a 5 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4.....52
**Gráfico 15:** Questões de 8 a 9 que envolviam os conceitos específico, conforme descrito no item 5.4.....53
**Gráfico 16:** Questões de 1 a 5 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4.....53

**Gráfico 17:** Questões de 1 a 9 que envolviam todos os conceitos, conforme descrito no item 5.4.....53
**Gráfico 18:** Questões de 1 a 10 que envolviam todos os conceitos, conforme descrito no item 5.4.....53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ENEM - Exame Nacional do Ensino Médio

FAPES - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo

INPM - Instituto Nacional de Pesos e Medidas

LED - Light Emitting Diode

MNPEF - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino Médio

PCNs - Parâmetros curriculares Nacionais

PVC - Polyvinyl Chloride

PPGEnsFis - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

SBF - Sociedade brasileira de Física

SI- Sistema Internacional de Unidades

SEDU - Secretaria de Educação do Estado do Espírito Santo

UFES - Universidade Federal do Espírito Santo

**SUMÁRIO**

**1 INTRODUÇÃO.....16**

1.1 Objetivos.....19

1.1.1 Objetivo Geral.....19

1.1.2 Objetivos Específicos.....19

**2 REFERENCIAL TEÓRICO.....20**

2.1 Aprendizagem Significativa.....20

2.2 Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.....23

2.3 Ensino com o auxílio de experimentos.....24

**3 LEIS DA TERMODINÂMICA.....27**

3.1 Introdução.....27

3.2 Temperatura.....27

3.3 A Lei zero da Termodinâmica.....27

3.4 Primeira Lei da Termodinâmica.....28

3.4.1Aplicação da primeira lei da termodinâmica às transformações gasosas.....28

3.5 Segunda Lei da Termodinâmica.....30

3.6 Terceira Lei da Termodinâmica.....31

**4 CONTEXTO HISTÓRICO.....33**

4.1 História da Termodinâmica.....33

4.2 Biografia de Robert Stirling.....34

4.3 História do motor Stirling.....35

4.4 Funcionamento do motor Stirling.....37

**5 METODOLOGIA.....39**

5.1 Local e sujeitos da pesquisa.....39

5.2 Registros e documentação .....39

5.3 Aplicação da sequência didática .....39

5.3.1- 1ª aula .....39

5.3.2- 2ª aula .....39

5.3.3- 3ª aula .....40
5.3.4- 4ª aula .....41
5.3.5- 5ª aula .....44
5.3.6- 6ª aula .....44
5.3.7- 7ª aula .....45
5.3.8- 8ª aula .....47
5.4 Instrumento de coletas de dados .....47

**6 ANÁLISE DE DADOS.....49**
6.1 Resultados obtidos para turma 2M01.....49
6.2 Resultados obtidos para turma 2M02.....50
6.3 Resultados obtidos para turma 2M01 E 2M02 juntas.....52
6.4 Avaliação da satisfação com a aplicação da sequência didática por parte dos alunos, com o uso de um questionário.....53

**7 CONCLUSÕES.....59**

**REFERÊNCIAS.....61**

**APÊNDICES.....63**
Apêndice A – Pré-teste
Apêndice B – Pós-teste
Apêndice C – Textos para levantamento dos organizadores prévios
Apêndice D – Produto Educacional

# 1 INTRODUÇÃO

Para que o ensino de Física se torne mais interessante, é preciso oferecer ao aluno novas ferramentas de aprendizagem. Os Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio (PCNEM) já orientam os professores do ensino médio, enfatizando que os alunos, mais do que reproduzir dados, devem dominar classificações e identificar símbolos. O indivíduo deve estar preparado para a vida num mundo como o atual, de rápidas transformações. É preciso dar sentido ao que se está aprendendo.

> *"Sendo o Ensino Médio um momento particular do desenvolvimento cognitivo dos jovens, o aprendizado de Física tem características específicas que podem favorecer uma construção rica em abstrações e generalizações, tanto de sentido prático como conceitual. Levando-se em conta o momento de transformações em que vivemos, promover a autonomia para aprender deve ser preocupação central, já que o saber de futuras profissões pode ainda estar em gestação, devendo buscar-se competências que possibilitem a independência de ação e aprendizagem futura." (PCNEM, p. 23)*

Por esse motivo, este trabalho, além de abordar a questão teórica e prática das primeira e segunda leis da termodinâmica, busca também contextualizar este conteúdo com a realidade vivida pelo aluno, fazendo com que o mesmo seja parte integrante do processo de aprendizagem.

Formado, em 2008, vinha atuando em aulas particulares para alunos com dificuldade no aprendizado de Física. No ano de 2015, optei por assumir uma cadeira de designação temporária no estado do Espírito Santo em licenciatura de Física para a primeira, segunda e terceira séries do ensino médio. Durante o período em que ministrei aulas particulares no ensino de Física, constatei a dificuldade do aluno em compreender e contextualizar os assuntos abordados na disciplina com os eventos que ocorrem no seu cotidiano e nem sequer relacioná-los a aplicabilidades práticas.

Passei então a elaborar alguns experimentos físicos, com materiais do cotidiano do aluno, para demonstrar como ocorria o emprego do conceito ou simplesmente, mostrar parte do assunto envolvido nos devidos experimentos apresentados. Um dos experimentos que iniciei minha jornada, foi o de representar linhas de campo magnético, através de canudos plásticos preso a uma placa de isopor, mostrando a representação da direção e sentido dos mesmos, sejam entrando ou saindo do plano. Ao ingressar nas escolas de ensino médio da rede estadual do estado do Espírito Santo, constatei que as mesmas dificuldades também existiam.

Comecei então a aplicar os recursos experimentais nas escolas, tentando, após as aulas em que utilizava esses recursos, extrair dos alunos, se eles adquiriam uma melhor compreensão do conteúdo se comparado com as aulas em que não eram utilizados estes recursos. A minha

impressão era que os alunos apresentavam uma melhor compreensão do assunto, a cada vez que eram usados esses recursos se comparados as aulas que não usavam.

Quando o aluno da escola pública dos estado do Espírito Santo se depara com a Física no ensino médio, a primeira reação é o medo, pois no ensino fundamental, mais especificamente na 9ª série, ele somente tem conteúdo relacionado à Física, na disciplina chamada de Ciências, que deve englobar em um único ano, conteúdos de Química, Física e Biologia. E, para diminuir a apreensão e o desconforto com a disciplina, o professor tem que disponibilizar ferramentas e métodos para que o aprendizado aconteça da melhor e mais prazerosa forma possível.

Os capítulos que envolvem as primeira e segunda leis da termodinâmica fazem parte do conteúdo de termodinâmica na segunda série do ensino médio.

> *[...] "A Termodinâmica, por sua vez, ao investigar fenômenos que envolvem o calor, trocas de calor e de transformação da energia térmica em mecânica, abre espaço para uma construção ampliada do conceito de energia. Nessa direção, a discussão das máquinas térmicas e dos processos cíclicos, a partir de máquinas e ciclos reais, permite a compreensão da conservação de energia em um âmbito mais abrangente, ao mesmo tempo em que ilustra importante lei restritiva, que limita processos de transformação de energia, estabelecendo sua irreversibilidade. A omissão dessa discussão da degradação da energia, como geralmente acontece, deixa sem sentido a própria compreensão da conservação de energia e dos problemas energéticos e ambientais do mundo contemporâneo." (PCNEM, 1999, p. 25)*

Quando alcançamos estes conteúdos os alunos já deveriam ter estudado conceitos fundamentais, 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, onde é preciso fazer um balanço energético, para sabermos quando essas grandezas assumem valores positivos, negativos ou nulos.

A segunda lei vem estabelecer condições para que as transformações térmicas possam ocorrer, enfatizando o enunciado de Clausius[1], o qual afirma que:

> *"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)*

E é anunciada por Kelvin[2] de outra maneira:

> *"Nenhum sistema pode absorver calor de um único reservatório e convertê-lo inteiramente em trabalho sem que resultem outras variações no sistema e no ambiente que o cerca." (TIPLER, 2009)*

Ou seja, teríamos que ter uma máquina térmica perfeita, na qual não ocorreriam dissipações de energia, e todo o calor extraído do reservatório seria convertido integralmente em trabalho.

Quando este enunciado é demonstrado em sala de aula, temos as explicações do funcionamento de uma máquina térmica. Sendo assim, segundo a teoria, uma máquina térmica segue a segunda lei da termodinâmica, e, para converter calor em trabalho de modo contínuo, deve operar em

ciclo entre duas fontes térmicas, uma quente e outra fria, retirando calor da fonte quente e convertendo parte desse calor em trabalho, o restante da energia é dissipado para uma fonte fria.

Este trabalho propõe o uso de experimento para que o aluno contextualize os conceitos das primeira e segunda leis da termodinâmica em sua realidade social, partindo de comparações do experimento apresentado com o que ele utiliza no seu dia a dia, como transporte coletivo, geração de energia termoelétrica e outros.

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.

Será adotada uma pesquisa para averiguar a ocorrência de aprendizagem, utilizando uma abordagem quantitativa.

> *Nesse contexto o professor está presente como mediador, facilitador e catalisador do processo da aprendizagem. Sua presença se faz absolutamente indispensável como elemento organizador do contexto de aprendizagem, com vistas a facilitar o processo da construção das representações pelo aluno (MORETTO, 2002, p. 37)*

Nas estratégias para a coletânea de dados, será aplicado um pré-teste para averiguar o conhecimento existente relacionado ao conteúdo da termodinâmica. Esse pré-teste será constituído de um questionário composto por perguntas cujo objetivo é o de sondar se o aluno já possui conhecimento prévio sobre o conteúdo abordado.

Após a aplicação da sequência didática envolvendo os conceitos das primeira e segunda leis da termodinâmica aplicadas ao conteúdo de máquinas térmicas, ocorrerá aplicação de um pós-teste, cujo instrumento será um questionário composto por perguntas com o objetivo de aferir a construção do conhecimento dos alunos após a aplicação da sequência didática, para que posteriormente, sejam comparados o pré-teste com o pós-teste. Desenvolvi este trabalho, na busca de um maior engajamento dos alunos e uma melhoria no rendimento dos mesmos.

---

1 Clausius – Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888), polonês, nascido em Koszalin, atuou como professor nas Universidades de Wurzburg e Bonn e no Instituto Politécnico de Zurique. Estabeleceu os princípios da equivalência entre trabalho e calor, e a explicação da geração de trabalho mecânico em calor no ano de 1850. (BRAGA et al, 2008).

2 Kelvin – Willian Thomson (1824-1907), também conhecido como Lord Kelvin, irlandês de Belfast, que em 1852, tratou da noção de dissipação da energia, afirmando que o trabalho mecânico se degrada em calor, mas o contrário é impossível. (BRAGA et al, 2008).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar os impactos da aplicação de uma sequência didática baseada na metodologia da aprendizagem significativa, abrangendo os conteúdos de termodinâmica, com o emprego de experimentos e um motor Stirling.

### 1.1.2 Objetivos específicos

1. Criar uma sequência didática envolvendo os conceitos das primeira e segunda leis da termodinâmica aplicadas ao conteúdo de máquinas térmicas;
2. Investigar se os alunos consideraram válidas a utilização de uma sequência didática desenvolvida como forma de construção do conhecimento;
3. Comparar o rendimento entre os alunos no pré-teste e no pós-teste;
4. Criar e disponibilizar um tutorial, com fotos e detalhamento, mostrando a construção dos experimentos utilizados;

# 2 REFERENCIAL TEÓRICO

## 2.1 Aprendizagem significativa

O referencial teórico que embasa o desenvolvimento desta sequência didática, bem como das estratégias para sua utilização em sala de aula, está descrito adiante.

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 significativo, 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 motivação, 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)*

É por intermédio da aprendizagem significativa que propomos trazer ao estudante uma forma de ensino que o satisfaça, segundo o seu contexto histórico-cultural, 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.

O ensino com o apoio de práticas experimentais coloca o estudante numa situação de reflexão e participação, retirando-o do papel de coadjuvante para protagonista do próprio conhecimento.

> *[...] de modo convergente a esse âmbito de preocupações, o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente (ARAUJO e ADIB, 2003, p. 02).*

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, 2003). A essência do processo de aprendizagem significativa, tal como já se verificou, consiste no fato de que novas ideias expressas de forma simbólica (a tarefa de aprendizagem) se relacionam àquilo que o aluno já sabe (a estrutura cognitiva deste numa determinada área de matérias) 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, 2003).

A aprendizagem significativa exige que os alunos manifestem um mecanismo de aprendizagem significativa (ou seja, uma disposição para relacionarem o novo material a ser apreendido, de forma não arbitrária e não literal, à própria estrutura de conhecimentos) e que o material que aprendem seja potencialmente significativo para os mesmos, nomeadamente relacional com as estruturas de conhecimento particulares (Ausubel, 1968). Assim, independentemente da quantidade de potenciais significados que pode ser inerente a uma determinada proposição, se a intenção do aluno for memorizá-los de forma arbitrária e literal (como uma série de palavras), quer o processo, quer o resultado da aprendizagem devem ser, necessariamente, memorizados ou sem sentido.

Uma provável razão por que os alunos desenvolvem frequentemente um mecanismo de aprendizagem através da memorização numa matéria de aprendizagem potencialmente significativa prende-se ao fato de aprenderem, a partir de experiências anteriores, que as respostas substancialmente corretas que não estejam em conformidade, de forma literal, com aquilo que o professor ou livro escolar afirmam, não têm qualquer crédito por parte de alguns professores. Outro fator, que determina se o material de aprendizagem é ou não potencialmente significativo, depende mais da estrutura cognitiva particular do aluno do que da natureza do próprio material de aprendizagem.

A aquisição de significados é um fenômeno da natureza que ocorre em determinados seres humanos – e não na humanidade em geral. Assim, para que a aprendizagem significativa ocorra de fato, não é suficiente que o novo material seja simplesmente relacional, de forma não arbitrária e não literal, com ideias correspondentes relevantes no sentido mais geral ou abstrato do termo, também é necessário para a aprendizagem significativa que o conteúdo relevante esteja disponível na estrutura cognitiva do aluno em particular, para satisfazer esta função de subsunção e de ancoragem.

Para tal, propomos uma sequência didática, com o intuito de verificar se o mesmo é capaz de auxiliar na seleção e ancoragem dos subsunçores presentes na estrutura cognitiva do aluno. Pretendemos selecionar os subsunçores relacionados à termodinâmica, como: calor, temperatura e condutividade térmica.

Segundo Ausubel (2003), se fosse possível isolar uma variável para ser considerada a mais importante para que ocorra a aprendizagem significativa de novos conhecimentos, essa variável seria o conhecimento prévio. Por meio dessas interações do processo de aprendizagem, um conhecimento prévio pode adquirir novos significados de maneira progressiva, ficando cada vez mais elaborado e mais capaz de servir de subsunçor para novas etapas da aprendizagem.

Os organizadores prévios podem ser textos introdutórios, filmes ou documentários, uma discussão, uma frase ou até mesmo uma dramatização (MOREIRA, 2012).

Para melhor compreensão da busca pela aprendizagem significativa, é importante entender como os conhecimentos interagem entre si e como eles podem se organizar e se reorganizar na chamada estrutura cognitiva dos alunos. Neste sentido, entende-se estrutura cognitiva como sendo um conjunto de subsunçores inter-relacionados e organizados de forma hierárquica numa estrutura dinâmica e caracterizada por dois processos principais: o da diferenciação progressiva e o da reconciliação integradora ou, integrativa.

A diferenciação progressiva é o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor, resultante da sucessiva utilização desses subsunçores, para dar significado a novos conhecimentos. Sendo assim, sugere-se como forma organizacional de facilitação da aprendizagem que o novo conhecimento seja apresentado aos alunos da seguinte forma: em primeiro lugar, "[...] as ideias mais gerais e inclusivas da disciplina e, depois, estas são progressivamente diferenciadas em termos de pormenor e de especificidade" (AUSUBEL, 2003, p.166). Essa ordem de apresentação corresponde, presumivelmente, a como os seres humanos representam, organizam e armazenam estes conhecimentos na estrutura cognitiva.

O outro processo da dinâmica da estrutura cognitiva consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados e fazer superordenações do novo conhecimento apresentado ao aluno. A esse processo dá-se o nome de reconciliação integradora ou integrativa.

Segundo Ausubel (2003), o que se observa é que, geralmente, os textos e manuais didáticos compartimentam o conteúdo, segregando as ideias em tópicos, estruturando-os em forma de capítulos ou subcapítulos. Para o Ausubel, essa prática traz algumas consequências indesejadas para os alunos, tais como: utilização de múltiplos termos gerando uma confusão cognitiva e incentivando a aprendizagem por memorização; surgimento de uma barreira artificial entre tópicos intrinsecamente relacionados impossibilitando a aquisição e o reconhecimento da relação existente entre esses tópicos; não se faz o uso adequado das ideias relevantes que foram anteriormente aprendidas, o que serviria de base para a subsunção e a assimilação de novas informações relacionadas; não se tornam claras as diferenças significativas entre os conceitos

aparentemente semelhantes, pois, muitas vezes, o aluno até percebe essas diferenças, mas acaba retendo os conteúdos como se fossem idênticos.

Sendo assim, a adoção dos mecanismos da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa devem ser utilizados como princípios programáticos para a elaboração de materiais de ensino, visando a aprendizagem efetivamente significativa.

## 2.2 Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa

Na diferenciação progressiva, as ideias mais gerais e mais inclusivas da disciplina devem ser apresentadas no início para depois serem progressivamente diferenciadas. Em termos de detalhe e especificidade é mais fácil para o ser humano captar aspectos diferenciados de um todo mais inclusivo previamente aprendido, do que chegar ao todo a partir de suas partes diferenciadas. Na abordagem deste trabalho, temos como tema mais gerais o calor e a temperatura.

O tema temperatura foi diferenciado em escalas termométricas (Celsius, Fahrenheit e Kelvin), energia interna e lei zero da termodinâmica (equilíbrio térmico).

O tema calor foi diferenciado em processos de troca de calor (condução, convecção, irradiação), capacidade térmica, calor específico da substância, quantidade de calor (calor sensível, calor latente). No calor latente, foi abordado a mudança de estados físicos (**sólido** – dilatação linear, superficial e volumétrica, **líquido e gases** – dilatação volumétrica). No conteúdo de gases abordamos transformações gasosas, trabalho nas transformações gasosa, primeira e segunda leis da termodinâmica.

Exemplo aplicado em nosso experimento do tubo acoplado em uma seringa (Figura 1), demonstramos a presença da chama, o aquecimento do tubo que é claramente percebido pelo alunos (transferência de **calor**, devido diferença de temperatura entre dois corpos), do aquecimento do ar contido no experimento (transmissão por condução da energia térmica – **calor** – através do vidro), expansão do ar (trabalho realizado) ocorrido em uma transformação gasosa de forma isotérmica, após recebimento de **calor** do meio externo, a percepção da expansão (volume variando) se dá visualizando a movimentação do êmbolo da seringa.

**Figura 1** - Experimento tubo de vidro acoplado a uma seringa
**Fonte:** Autoria própria

Na reconciliação integrativa deve-se explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças importantes.

A reconciliação deve acontecer, em primeiro lugar, entre as ideias existentes num material a ser aprendido. Em segundo lugar, entre o novo material e as ideias anteriormente disponíveis na estrutura cognitiva do aluno. Este último tipo de reconciliação se torna muito necessário quando um professor quer ensinar algum conceito que na ciência tem um significado e no senso comum tem outro significado.

Em nossa abordagem, apresentamos o experimento (Figura 1), descrevendo os conceitos diferenciado envolvidos em cada etapa do experimento (diferença de temperatura entre corpos, transmissão de calor por condução, transformação gasosa, trabalho em uma transformação) e mostramos a conexão da parcela diferenciada que existe naquele experimento com o conteúdo mais geral (calor), reforçando com exemplos do cotidiano do aluno e demostrando que eles estão interligados com o conceito mais geral, também demostrando esta relação nos experimentos.

## 2.3 Ensino com o auxílio de experimentos

Conforme relatado na introdução, passei por várias dificuldades ao assumir como professor, tais como a falta de livros didáticos, ambientes multimídias, laboratórios e equipamentos/experimentos para realização de aulas práticas, bibliotecas na escola, a falta de capacitação profissional que não é oferecida pelo órgão de educação e ausência de estímulo profissional por parte das políticas educacionais de estado.

Segundo Araújo e Abib (2003, p. 176), as dificuldades e problemas que afetam o sistema de ensino em geral e particularmente o ensino de Física não são recentes e têm sido diagnosticados

há muitos anos, levando diferentes grupos de estudiosos e pesquisadores a refletirem sobre suas causas e consequências e propor possíveis soluções.

Dentre estas áreas, estão aquelas que apontam para uma educação voltada para a plena participação dos alunos no processo de ensino e aprendizagem, tornando-os capazes de compreender os avanços tecnológicos e atuar conscientemente em intervenções e julgamentos práticos no meio social em que vivem.

A realização das atividades experimentais deve ser feita concomitante à exposição do assunto escolhido para a aula e o professor deve sempre incentivar a interação social para que o processo de ensino e aprendizagem se torne mais eficaz e prazeroso. Deve ainda estimular o desenvolvimento cognitivo, a fim de motivar os alunos a realizarem novas discussões e descobertas.

Segundo Araújo e Abib (2003, p. 176), as atividades experimentais são consideradas, por professores e alunos, como uma das estratégias mais eficazes para se aprender e ensinar Física de modo significativo e consistente. São particularmente importantes, já que desenvolvem diferentes e concomitantes formas de percepção qualitativa e quantitativa nos estudantes. A realização de atividade experimental é sempre um evento marcante, desafiador e inestimável do ponto de vista cognitivo do aluno e pode ser realizado tanto pelos alunos quanto pelo professor.

A classificação dada por Araújo e Abib (2003) foi elaborada a partir do estudo de 106 artigos publicados nos periódicos nacionais Caderno Brasileiro de Ensino da Física e Revista Brasileira de Ensino da Física entre os anos de 1992 e 2001. Segundo os autores, a escolha desses periódicos ocorreu devido ao grande número de trabalhos publicados na área de ensino de Física e que foram desenvolvidos no Brasil.

Segundo Araújo e Adib (2003, p. 184), através do conjunto de artigos analisados, são amplas as possibilidades de utilização de atividades experimentais que visam a verificação de leis Físicas e o estudo do comportamento de diferentes sistemas físicos. Ainda que estas atividades apresentem limitações inerentes à sua própria característica, acredita-se que quando conduzidas adequadamente elas também podem contribuir para um aprendizado significativo, propiciando o desenvolvimento de importantes habilidades nos estudantes, como a capacidade de reflexão, de efetuar generalizações e de realização de atividades em equipe, bem como o aprendizado de alguns aspectos envolvidos com o tratamento estatístico de dados e a possibilidade de questionamento dos limites de validade dos modelos físicos. Portanto, a adequada condução das atividades pode ser considerada novamente como um elemento indispensável e fundamental

para que seja alargado o leque de objetivos e o desenvolvimento de posturas e habilidades que podem ser promovidos através de atividades dessa natureza.

É importante ressaltar que ao ser apresentado os experimentos aos alunos, foi percebido que o grau de interesse, motivação e participação, aumentaram muito. A motivação em acompanhar as aulas, foi um fator que causou muita surpresa, se aproximaram mais do professor, se empenharam em debater o experimento, o conceito físico, não só com o professor, mas entre os próprios alunos, fazendo analogias com outros tipos de equipamentos do cotidiano dos mesmos.

Na sua conclusão, Araújo e Adib (2003, p. 190), no que se refere ao grau de direcionamento das atividades, acredita-se que, de um modo geral, a utilização adequada de diferentes metodologias experimentais, tenham elas a natureza de demonstração (que é a apresentada neste trabalho), verificação ou investigação, pode possibilitar a formação de um ambiente propício ao aprendizado de diversos conceitos científicos sem que sejam desvalorizados ou desprezados os conceitos prévios dos estudantes. Assim, mesmo as atividades de caráter demonstrativo, amplamente utilizada pelos autores pesquisados e que visam principalmente a ilustração de diversos aspectos dos fenômenos estudados, podem contribuir para o aprendizado dos conceitos físicos abordados na medida em que essa modalidade pode ser empregada através de procedimentos que vão desde uma mera observação de fenômenos até a criação de situações que permitam uma participação mais ativa dos estudantes, incluindo a exploração dos seus conceitos alternativos de modo a haver maiores possibilidades de que venham a refletir e reestruturar esses conceitos. Cabe ressaltar que grande parte das propostas analisadas se baseiam na utilização de equipamentos e materiais de baixo custo e fácil aquisição (que é a proposta empregada neste trabalho), tornando acessível o seu emprego e adaptação mesmo em escolas que não disponham de laboratórios e recursos materiais significativos.

# 3 LEIS DA TERMODINÂMICA

## 3.1 Introdução

Conforme Halliday e Resnick (2009, p. 183), um dos principais ramos da Física e da Engenharia é a termodinâmica, o estudo das leis que regem a relação entre calor, trabalho e outras formas de energia. Um dos conceitos centrais da termodinâmica é o de temperatura. Desde a infância, temos um conhecimento prático dos conceitos de temperatura e energia térmica. Sabemos, por exemplo, que é preciso tomar cuidado com alimentos e objetos quentes e que a carne e o peixe devem ser guardados na geladeira. Sabemos, também, que a temperatura no interior de uma casa e de um automóvel deve ser mantida dentro de certos limites, e que devemos nos proteger do frio e do calor excessivos.

## 3.2 Temperatura

A temperatura é uma das sete grandezas fundamentais do S.I. (Sistema Internacional de Unidades). Os físicos medem a temperatura na escala Kelvin, cuja unidade é o kelvin (K). Embora não exista um limite superior para a temperatura de um corpo, existe um limite inferior; esta temperatura limite é tomada como sendo o zero da escala Kelvin de temperatura. A temperatura ambiente está em torno de 290 kelvins (290 K).

Quando o universo começou, há 13,7 bilhões de anos, sua temperatura era da ordem de $10^{39}$ K. Ao se expandir, o universo esfriou, e hoje sua temperatura média é de aproximadamente 3 K. Aqui na Terra a temperatura é um pouco maior, porque vivemos nas vizinhanças de uma estrela. Se não fosse o Sol, também estaríamos a 3 K (ou melhor, não existiríamos).

## 3.3 A lei zero da termodinâmica

Se dois corpos A e B estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo T, A e B estão em equilíbrio térmico entre si.

O que a lei zero nos diz é o seguinte: “Todo corpo possui uma propriedade chamada temperatura. Quando dois corpos estão em equilíbrio térmico, suas temperaturas são iguais e vice-versa.” Podemos agora transformar nosso terceiro corpo T em um termômetro, confiantes de que suas leituras têm um significado físico. Tudo que precisamos fazer é calibrá-lo.

Usamos a lei zero constantemente nos laboratórios. Quando desejamos saber se os líquidos em dois recipientes estão à mesma temperatura, medimos a temperatura de cada um com um termômetro, não precisamos colocar os dois líquidos em contato e observar se estão ou não em equilíbrio térmico.

A lei zero, considerada uma descoberta tardia, foi formulada apenas na década de 1930, muito depois que a primeira e segunda leis da termodinâmica foram descobertas e numeradas. Como o conceito de temperatura é fundamental para essas duas leis, a lei que estabelece a temperatura como um conceito válido deve ter uma numeração menor; por isso o zero.

### 3.4 Primeira lei da termodinâmica

Conforme BONJORNO & CLINTON (2016, p. 104), a primeira lei da Termodinâmica trata da conservação de energia de um sistema, considerando três parâmetros: a quantidade de calor **Q** trocada, o trabalho **W** realizado pelo sistema ou sobre ele e a variação da energia interna **U**.

Consideremos uma transformação isobárica de **n** mols de um gás monoatômico à temperatura inicial $\mathbf{T_1}$, medida por um termômetro contido em um cilindro cujo êmbolo pode se deslocar com atrito desprezível.

A energia interna inicial do gás é $E_{int(1)} = U_1 = nRT_1$. Fornecendo ao gás uma quantidade de calor conhecida **Q**, o volume do gás muda de $\mathbf{V_1}$ para $\mathbf{V_2}$. A temperatura e a energia interna do gás se alteram, respectivamente, para $\mathbf{T_2}$ e $E_{int(2)} = U_2 = nRT_2$. A variação da energia interna será:

$$E_{int(2)} - E_{int(1)} = \Delta U = nR\Delta T.$$

e o trabalho realizado pelo sistema sobre o ambiente é: $\mathbf{W = P.\Delta V}$, em que a pressão **P** é lida no manômetro adaptado ao cilindro. Com os dados obtidos experimentalmente, faz-se um balanceamento das energias envolvidas. A conservação de energia nesse sistema é expressa da seguinte forma:

$$\mathbf{\Delta U = Q - W},$$

ou seja, a variação da energia interna é o resultado da diferença entre o calor trocado e trabalho realizado.

Um exemplo cotidiano da aplicação da primeira lei da Termodinâmica pode ser observado no funcionamento de uma panela de pressão. A panela com água recebe certa quantidade de calor **Q** da chama da boca do fogão; com isso sua energia interna **U** aumenta. A água em ebulição produz vapor que exerce pressão sobre a válvula que realiza trabalho (deslocamento do pino) e dissipa calor para o ambiente na forma de vapor d'água.

#### 3.4.1 Aplicação da primeira lei da termodinâmica às transformações gasosas

Conforme BONJORNO & CLINTON (2016, p. 105), para aplicar a primeira lei da Termodinâmica, que envolve as grandezas calor, trabalho e energia interna, é preciso fazer um

balanço energético, isto é, saber quando essas grandezas assumem valores positivos, negativos ou nulos.

- **Transformação isobárica**

A variação da energia interna $\Delta U$ de um sistema corresponde à diferença entre a quantidade de calor trocada Q e o trabalho W realizado no processo.

$$\Delta U = Q - W.$$

Na expansão, o sistema recebe calor ($Q > 0$) e fornece trabalho ($W > 0$); na compressão, o sistema recebe trabalho ($W < 0$) e fornece calor ($Q < 0$).

- **Transformação isotérmica**

A temperatura é mantida constante. Portanto, não há variação de energia interna ($\Delta U = 0$) e o trabalho realizado é equivalente ao calor trocado entre a massa gasosa e o meio externo.

$$W = Q.$$

Na expansão, o sistema recebe calor ($Q > 0$) e fornece trabalho ($W > 0$); na compressão, o sistema recebe trabalho ($W < 0$) e fornece calor ($Q > 0$).

- **Transformação isovolumétrica**

O volume não varia, o êmbolo não se desloca, então não há realização de trabalho ($W = 0$).

$$\Delta U = Q.$$

Todo o calor trocado, absorvido ou liberado é utilizado para alterar (aumentar ou diminuir) a energia interna do gás.

- **Transformação adiabática**

Nessa transformação, o sistema não troca calor com o meio exterior ($Q = 0$). A troca de energia entre o sistema e o ambiente é na forma de trabalho, que provoca mudanças na energia interna do sistema, ou seja:

$$\Delta U = -W.$$

Na expansão, $W > 0$ e $\Delta U < 0$, ou seja, o trabalho realizado sobre o ambiente se dá à custa da energia interna do sistema. Na compressão, $W < 0$ e $\Delta U > 0$, isto é, o sistema recebe trabalho do ambiente que é totalmente transformado em energia interna para o sistema.

**Transformação cíclica**

Numa transformação cíclica, o calor total trocado (**Q**) e o trabalho total realizado (**W**) são equivalentes, pois a variação de energia interna é nula. Em um ciclo, o gás sofre diversas transformações até atingir novamente o estado inicial. As variáveis de estado final $P_f$, $V_f$ e $T_f$ apresentam valores iguais a $P_0$, $V_0$ e $T_0$, respectivamente. Toma-se como referência a

temperatura absoluta do gás, $\Delta T = 0$. Como $\Delta U = nR\Delta T$, conclui-se que a energia interna do gás também é nula ($\Delta U = 0$) e, portanto, $Q = W$.

### 3.5 Segunda lei da termodinâmica

Conforme BONJORNO & CLINTON (2016, p. 109), a segunda lei da Termodinâmica discute a **irreversibilidade** das transformações e das suas limitações. Para exemplificar, analisaremos uma máquina térmica de combustão externa, como a turbina a vapor.

Na caldeira, a água (substância de trabalho) sob alta pressão é aquecida até a ebulição a uma temperatura bem superior a 100ºC (maior pressão, maior temperatura de ebulição). O vapor formado expande-se e é conduzido até um conjunto de hélices (turbina) para o qual transfere parte da energia, produzindo a rotação do eixo da turbina, que transmite o movimento ao conjunto biela-pistão. Durante a expansão do vapor e o movimento das hélices, ocorre uma diminuição da pressão e da temperatura do vapor, e o processo tende a parar. Para que isso não ocorra, o vapor de água, após passar pela turbina para produzir trabalho, vai para um condensador, onde é transformado em água (liquefaz). O vapor condensado - água - é bombeado sob alta pressão e regressa à caldeira, provocando a repetição do processo, isto é, fazendo que o sistema opere ciclicamente.

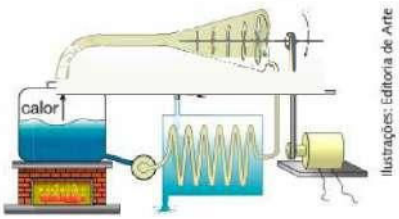



**Figura 2** – Imagem da representação de uma caldeira
**Fonte:** BONJORNO & CLINTON, 2016

As máquinas térmicas funcionam acopladas a duas fontes térmicas mantidas em temperaturas distintas. A chamada fonte quente, mantida à temperatura $T_1$, é a responsável pelo fornecimento de calor $Q_1$, à máquina, e a fonte fria, mantida à temperatura $T_2$ ($T_2 < T_1$), recebe o calor excedente $Q_2$, ou seja, o calor não convertido em trabalho. Veja o esquema.

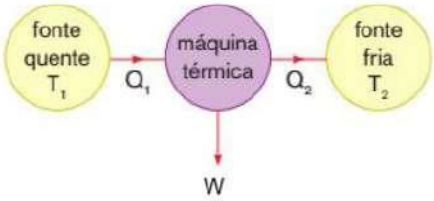



**Figura 3** – Imagem da representação esquemática de uma máquina térmica
**Fonte:** BONJORNO & CLINTON, 2016

Essa quantidade de calor $Q_2$ muitas vezes é denominada **calor eliminado** ou **calor rejeitado** pela máquina. Se aplicarmos a primeira lei da Termodinâmica ao ciclo efetuado por uma máquina térmica, teremos $\Delta U = 0$ (nos ciclos, os estados inicial e final coincidem) e então o trabalho realizado pela máquina $W_{ciclo}$ é igual à diferença entre a quantidade de calor $Q_1$, fornecida à máquina e a quantidade de calor $Q_2$ rejeitada pela máquina:

$$W_{ciclo} = Q_1 - |Q_2|.$$

$Q_2$ está sendo considerado em valor absoluto por se tratar de calor liberado. Vamos considerar duas formulações para a segunda lei:

A segunda lei vem estabelecer condições para que as transformações térmicas possam ocorrer, enfatizando o enunciado de Clausius[1], o qual afirma que:

> *"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)*

E é anunciada por Kelvin[2] de outra maneira:

> *"Nenhum sistema pode absorver calor de um único reservatório e convertê-lo inteiramente em trabalho sem que resultem outras variações no sistema e no ambiente que o cerca." (TIPLER, 2009)*

### 3.6 Terceira lei da Termodinâmica

Para se chegar na terceira lei vamos antes pensar na seguinte situação. Considere que desejamos resfriar um determinado sólido que é um composto puro, formado apenas pelo mesmo tipo de moléculas. A retirada continuada de calor dessas moléculas faz com que as moléculas passem a vibrar cada vez menos.

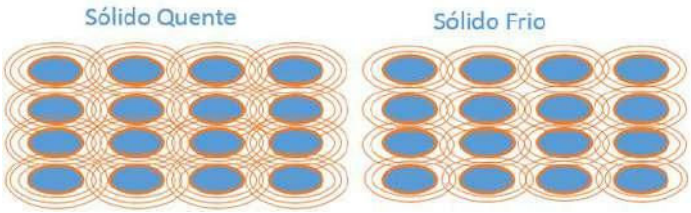



**Figura 4** – Imagem da representação do resfriamento de um sólido
**Fonte:** Responde Aí

Bem nessa figura a gente vê algo que representa o resfriamento do corpo, mas não é fiel ao como realmente está distribuído o calor em um corpo. A temperatura apenas expressa uma média da agitação molecular. O fato é que existem moléculas com mais agitação que outras em um corpo mesmo ele estando em equilíbrio térmico. Então a energia total pode ser determinada pela média, no entanto a energia de cada molécula não.

Tal distribuição contribui para o nível de entropia de um composto puro de forma que quanto maior a temperatura maior a amplitude de vibração entre a molécula menos agitada do corpo e

a mais agitada. Dessa forma há uma maior possibilidade de distribuição da energia vibracional entre as moléculas. Resumindo quanto maior a temperatura de um corpo maior o seu nível de entropia.

Agora, supondo que o corpo é resfriado até o 0 absoluto, o corpo perderá toda a sua agitação vibracional e logo teremos um sólido perfeito, que não vai apresentar nenhuma impureza e também todas as moléculas estão perfeitamente alinhadas. O sólido perfeito apresenta apenas um único microestado de mesma energia, e por isso a sua entropia será nula.

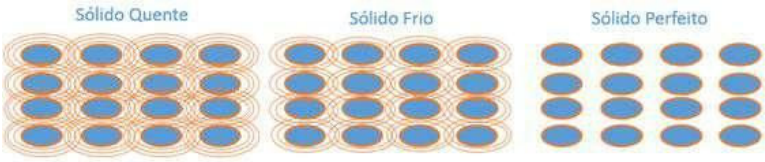



**Figura 5** – Imagem da representação do resfriamento de um sólido
**Fonte:** Responde Aí

O sólido perfeito apresenta apenas um único microestado de mesma energia a final nesse caso toda a energia vibracional estará distribuída de forma homogênea já que não há nenhuma energia para se distribuir, e por isso a sua entropia será nula. Como a entropia de um sistema deve sempre aumentar ao longo do tempo a terceira lei da termodinâmica determina que:

A variação da entropia de qualquer transformação física ou química tende a zero quando a temperatura tende a zero, admitindo-se que todas as substâncias envolvidas estão perfeitamente ordenadas.

Uma consequência direta dessa lei é que é impossível atingir o 0 absoluto, não importa o qual bem planejado e executado o processo seja e nem o número de operações que se execute. Outra consequência dessa lei é que tratamos a entropia como sendo uma função da temperatura e que tem o seu valor mínimo no zero absoluto.

# 4 CONTEXTO HISTÓRICO

## 4.1 História da termodinâmica

A temperatura é provavelmente o primeiro conceito termodinâmico. No final do século XVI, Galileu Galilei inventou um termômetro rudimentar, o termoscópio, ao qual se seguiram outros inventos com a mesma finalidade. O objetivo desses instrumentos era medir uma quantidade até então indefinida, mais objetiva na natureza do que as sensações fisiológicas de calor e frio. Na época, acreditava-se que a temperatura fosse uma potência motriz que provoca a transmissão de um certo eflúvio de um corpo quente para outro mais frio. Mas não se sabia explicar ainda o que era transmitido entre os corpos.

Francis Bacon, em 1620, e a Academia Florentina, alguns anos depois, começaram a fazer a distinção entre essa emanação e a temperatura. Somente em 1770, porém, o químico Joseph Black, da Universidade de Glasglow, diferenciou-as de maneira clara. Misturando massas iguais de líquidos a diferentes temperaturas, ele mostrou que a variação de temperatura em cada uma das substâncias misturadas não é igual em termos quantitativos. Black fundou a ciência da calorimetria, que levou à enunciação da teoria segundo a qual o calor é um fluido invisível, chamado calórico. Um objeto se aquecia quando recebia calórico e se esfriava quando o perdia. A primeira evidência de que essa substância não existia foi dada, no final do século XVIII, pelo conde Rumford (Benjamin Thompson). Demonstrou-se, posteriormente, que o que se troca entre corpos de temperaturas diferentes é a energia cinética de seus átomos e moléculas, energia também conhecida como térmica.

Em 1824, Sadi Carnot, um engenheiro militar francês, tornou-se o primeiro pesquisador a preocupar-se com as características básicas das máquinas térmicas e a estudar o problema de seu rendimento. A contribuição de Carnot à solução do problema, embora teórica, foi de importância fundamental, pois demonstrou as características realmente significativas do funcionamento das máquinas térmicas, ou seja: (1) que a máquina recebe de uma fonte qualquer certa quantidade de calor a temperatura elevada; (2) que ela executa um trabalho externo; e (3) que rejeita calor a temperatura mais baixa do que a correspondente ao calor recebido.

Apesar de fundamentar suas teorias na noção de que o calor é um fluido imponderável, o calórico, Carnot encontrou a expressão correta do rendimento máximo que se pode obter com uma máquina térmica qualquer, operando entre duas fontes de temperaturas diferentes. Na década de 1840, James Prescott Joule assentou as bases da primeira lei da termodinâmica ao mostrar que a quantidade de trabalho necessária para promover uma determinada mudança de

estado é independente do tipo de trabalho (mecânico, elétrico, magnético etc.) realizado, do ritmo e do método empregado.

Joule concluiu que o trabalho pode ser convertido em calor e vice-versa. Em 1844, Julius Robert von Mayer deduziu a lei de equivalência do calor e do trabalho, segundo a qual, num ciclo produtor de trabalho, o calor introduzido deve exceder o calor rejeitado em uma quantidade proporcional ao trabalho e calculou o valor da constante de proporcionalidade.

Em 1849, Lord Kelvin (William Thomson), engenheiro de Glasgow, mostrou o conflito existente entre a base calórica dos argumentos de Carnot e as conclusões obtidas por Joule. No ano seguinte, Rudolf Julius Emanuel Clausius solucionou o problema ao enunciar a primeira e a segunda leis da termodinâmica. Alguns anos depois, Clausius definiu a função da entropia, que se conserva em todas as transformações reversíveis, e deduziu da segunda lei da termodinâmica o princípio do aumento da entropia.

A publicação dos estudos de Clausius em 1850 marca o nascimento da ciência termodinâmica. De 1873 a 1878, Josiah Gibbs criou um método matemático que serviu como base para a fundação da termodinâmica química e para diversas aplicações da termodinâmica clássica. No início do século XX, Henri Poincaré elaborou as equações matemáticas das leis de Clausius, e Constantin Carathéodory apresentou uma estrutura lógica alternativa das teorias termodinâmicas que evitava o termo calor, considerado obsoleto. Em 1918, o Prêmio Nobel Walther Nernst, enunciou o princípio de Nernst, que coincide essencialmente com a terceira lei da termodinâmica. (Carlos José da Silva Costa - https://www.coladaweb.com/fisica/termologia/termodinamica. Acesso em 14 jan. 2019).

### 4.2 Biografia de Robert Stirling

Robert Stirling nasceu em 25 outubro de 1790 em Gloag, no condado de Perthshire, na Escócia, e faleceu a 6 de Junho de 1878 em Galston, cidade localizada a cerca de 30 km ao sul de Glasgow. Foi o terceiro filho de uma família de oito, e um brilhante aluno tanto na escola como na universidade. Estudou na universidade de Edimburgo de 1805-1808 onde teve latim, grego, lógica, matemática e direito. Também estudou teologia na Universidade de Glasgow. Casou-se em 10 de julho de 1819, com Jean Rankin. O casal teve sete filhos. A Figura 3 é uma foto de Robert Stirling (HIRATA, 1995).

**Figura 6:** Foto de Robert Stirling.
**Fonte:** Hirata, 1995.

## 4.3 História do motor Stirling

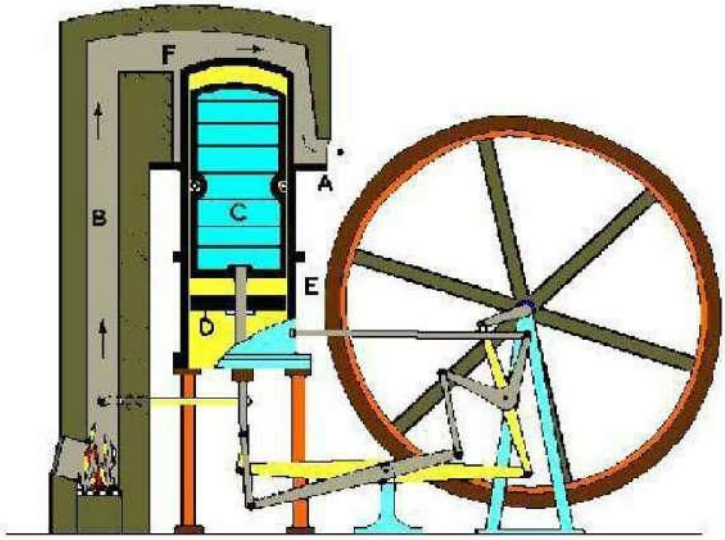



**Figura 7:** Imagem do motor original de Robert Stirling.
**Fonte:** Cruz, 2012.

Durante os primeiros dias da Revolução Industrial, os irmãos James e Robert Stirling estavam procurando uma alternativa mais segura para os motores a vapor convencionais da época. Em 1815, eles inventaram o chamado Mecanismo de Stirling e construíram um primeiro protótipo (Figura 7). A patente original n° 4081 de 1816 tinha o obscuro título: "Improvements for Diminishing the Consumption of Fuel, and in Particular an Engine Capable of Being Applied to the Moving (of) Machinery on a Principle Entirely New – Melhora para redução do consumo

de combustível, e em particular um motor capaz de ser aplicado ao movimento de máquina com um princípio completamente novo". Nesta patente, Robert Stirling não apenas descrevia a construção e o uso do regenerador pela primeira vez na história, como também prevê as suas principais aplicações, como para fornos de vidros ou para fusão de metais. Também está incluída uma descrição do primeiro motor de ciclo fechado (BARROS, 2005).

O motor Stirling utilizava ar, ao invés de vapor, como fluido de trabalho. Dessa forma era evitado o risco de explosão dos motores a vapor, muito comum naqueles dias. As caldeiras a vapor explodiam frequentemente fazendo vítimas, devido a problemas de projeto, má qualidade dos materiais, ausência de regras de utilização e manutenção. Foram esses desastres, aliados às descobertas científicas e tecnológicas, que levaram Robert Stirling a imaginar um motor sem caldeira, submetido a fortes pressões. O dispositivo Stirling foi utilizado pela primeira vez em 1818 para bombear água para uma pedreira, além de ser utilizado para retirar água de poços (BARROS, 2005).

Em 1843, as alterações ao desenho feitas por Stirling e pelo seu irmão tinham já permitido um aumento de potência suficiente para mover máquinas numa fundição em Dundee na Escócia, ainda que com muitos problemas técnicos (HIRATA, 1995).

A Philips utilizou o desenho no final dos anos 30 e início dos anos 40 com vista à alimentação de rádios de válvula em zonas sem energia elétrica (Figura 8), numa altura em que os motores Stirling tinham praticamente deixado de ser usados. Robert Stirling e o seu motor não tiveram quase nenhum reconhecimento de sua importância.

**Figura 8:** Imagem do motor Stirling desenvolvido pela Philips.
**Fonte:** 6ª Conferência Internacional de Motores Stirling, Eindhoven (Países Baixos) em 1993.

## 4.4 Funcionamento do motor Stirling

O motor Stirling é um motor térmico muito diferente do motor de combustão interna ou de um motor a vapor. Ele tem o potencial de utilizar qualquer fonte de calor como combustível e pode ser mais eficiente do que um motor a gasolina (ciclo OTTO) ou motor diesel (ciclo Diesel).

Um motor Stirling é uma máquina térmica que opera por meio da compressão cíclica e da expansão de ar ou de outro gás (o fluido de trabalho) à diferentes temperaturas de modo a que haja uma conversão líquida de calor em trabalho mecânico. Este tipo de motor é como uma máquina a vapor na qual toda a transferência de calor tem lugar através da parede do mesmo. É por norma entendido como um motor de combustão externa, em contraste com os motores de combustão interna nos quais a entrada de calor é efetuada pela combustão de um determinado combustível dentro do corpo do motor, apesar que o motor Stirling pode funcionar com o uso de energia solar. Ao contrário das máquinas a vapor, que usam água tanto no estado líquido como no gasoso, como fluido de trabalho, os motores Stirling restringem uma quantidade fixa de fluido permanentemente gasoso, como ar atmosférico, azoto, ou hélio. O ciclo geral para estes motores, à semelhança do que sucede em todas as máquinas térmicas, é constituído pela compressão do gás frio, pelo aquecimento do gás, e pelo arrefecimento do gás antes da repetição do ciclo.

Os motores Stirling são divididos em geral em três grupos, alfa (Figura 9), beta (Figura 10) e gama (Figura 11), de acordo com a configuração dos cilindros e pistões. O ciclo de Stirling precisa de quatro processos para a geração de potência: compressão a temperatura constante, aquecimento a volume constante, expansão a temperatura constante e rejeição de calor a volume constante. É, portanto, impossível executar o ciclo utilizando-se de apenas um pistão. Consequentemente, nos motores Stirling em geral, se tem dois espaços com diferentes temperaturas, sendo que o gás de trabalho flui de um para o outro. Nos motores Stirling, o movimento de tal gás é feito pelo pistão deslocador (displacer), também conhecido como pistão quente, e o trabalho é realizado pelo pistão de trabalho (pistão de compressão e de expansão), também conhecido como pistão frio (HIRATA, 1995). Um permutador de calor opcional para motores Stirling é uma espécie de recuperador (regenerador), usado quando é requerida uma elevada eficiência na conversão da entrada de calor para a saída de trabalho mecânico. Nos motores Stirling o regenerador ou permutador de calor, é espaço temporário de armazenamento de calor situado entre os espaços quentes e frios da estrutura que permite que o fluido de trabalho passe primeiro num sentido (e não no outro). A sua função é reter no interior do sistema o calor que de outra maneira iria ser trocado com o ambiente, permitindo assim uma maior eficiência desse ciclo.

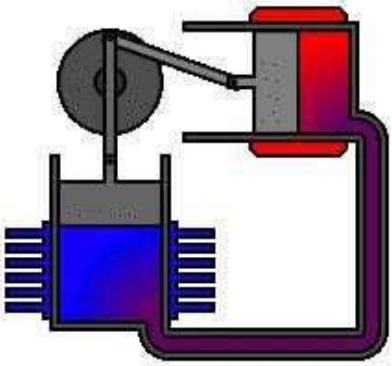


**Figura 9:** Desenho em corte do motor Stirling tipo alfa.
**Fonte:** Hirata, 1995.

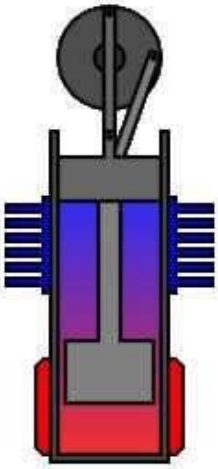


**Figura 10:** Desenho em corte do motor Stirling tipo beta.
**Fonte:** Hirata, 1995.

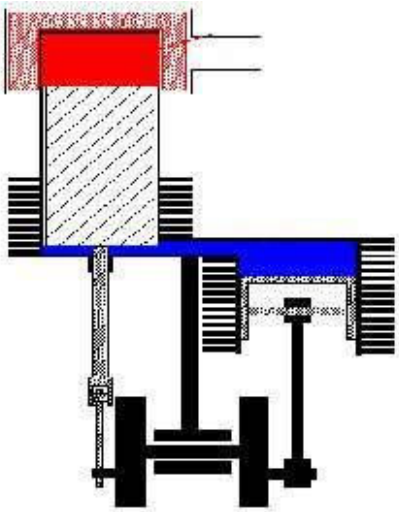


**Figura 11:** Desenho em corte do motor Stirling tipo gama.
**Fonte:** Hirata, 1995.

# 5 METODOLOGIA

## 5.1 Local e sujeitos da pesquisa

A pesquisa foi realizada no segundo semestre de 2018 em uma escola da rede estadual do ensino médio regular no município de Vila Velha, Espírito Santo. Participaram da pesquisa duas turmas da segunda série, perfazendo um total de 46 alunos participantes com idades entre 15 e 16 anos.

## 5.2 Registros e documentação

Os dados foram coletados por meio de registros escritos. Foram observados 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. Foram utilizadas oito aulas para a aplicação desta sequência didática.

## 5.3 Aplicação da sequência didática

### 5.3.1- 1ª aula

Foi aplicado o pré-teste (APÊNCIDE A) composto de nove questões, envolvendo conceitos como: calor, temperatura, condutividade térmica e das nove questões, duas são voltadas para a primeira e segunda leis da termodinâmica.

### 5.3.2- 2ª aula

Foi fornecido um texto (APÊNDICE C) sobre a primeira lei da termodinâmica, para ser lido em sala de aula. Posteriormente foi realizada uma discussão sobre o assunto para verificar os conhecimentos prévios dos alunos. As carteiras foram organizadas de forma a representar um círculo e foi informado aos alunos que o objetivo seria relacionar o conhecimento trazido no texto com o que já vínhamos discutindo nos conteúdos do trimestre anterior e aproveitou-se, de forma geral, para revisar os conceitos de temperatura, calor e condutividade térmica. Na sequência foi apresentada uma barra de alumínio de 30 cm, uma barra de aço de 30 cm (vergalhão fino – ferro/carbono), um pedaço de madeira de 30 cm (parajú), para demonstrar comparativos de condutividade térmica, teve o objetivo de verificar se os alunos conseguem relacionar o evento ocorrido, com os conhecimentos prévios: calor, temperatura, condutividade térmica.

Então foi aceso a lamparina (contendo 10ml de álcool 92,8º INPM), convidou-se três alunos para participarem do experimento, foi colocado cada objeto na mão de cada aluno, porém segurando na extremidade do mesmo e em seguida, um a um, foi posicionado o objeto sobre a chama e informado ao aluno que se pronunciasse, quando ele sentisse que o local onde ele segurava o objeto, alcançasse temperatura maior que a do ambiente e o restante da turma ficou observando. Eles constataram que os tempos eram diferentes devido a condutividade térmica diferente dos materiais e definiram, entre eles que a velocidade de percepção do aumento da temperatura, foi o alumínio, maior que o do aço que foi maior que o da madeira, neste último, não aguardamos o aluno se manifestar, pois o tempo já estava maior que os demais, então apagamos preventivamente, pois o objetivo já havia sido alcançado.

### 5.3.3- 3ª aula

Foram abordados os conceitos da primeira lei da termodinâmica, tendo em vista as dúvidas apresentadas na discussão do texto da primeira lei da termodinâmica e dos conhecimentos prévios relacionados ao assunto que os alunos demonstraram durante a discussão. Foi apresentado o primeiro experimento (Figura 12), que é uma construção própria do autor, com o intuito de verificar a primeira lei da termodinâmica, através das transformações isovolumétrica em primeira análise e isotérmica em segunda análise do mesmo experimento. Foi demonstrado que a seringa era graduada de meio em meio mililitro, com volume total de 3 ml e a seringa estava acoplada no tubo de vidro resistente a altas temperaturas, de forma a não permitir que o ar contido dentro do conjunto tubo mais seringa escapasse. 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, explorando assim os conhecimentos prévios que os alunos já possuem sobre o assunto. Apesar de se estar transferindo calor para o ar encerrado no tubo mais seringa, o êmbolo da seringa não se move, não havendo variação de volume, fato esse constatado visualmente, visto que, o êmbolo da seringa não se movimentava, concluiu-se então que o volume é constante, portanto a temperatura e a pressão aumentavam proporcionalmente, explorando também os conhecimentos prévios que os alunos já possuem sobre o assunto. Sendo o volume constante, não há realização de trabalho, então a variação da energia interna do ar será igual a quantidade calor transferida pela chama a ele, demonstrando assim, a primeira lei aplicada a transformação isovolumétrica ($Q = \Delta U$). Findado a demonstração da transformação isovolumétrica, ainda no mesmo experimento, o professor executou um pequeno empurrão instantâneo na haste da seringa, os alunos observaram que o êmbolo iniciou um deslocamento

contínuo com uma certa velocidade, enquanto se mantinha a presença da chama próximo ao tubo, ao afastar a chama do tubo a velocidade diminuía, demonstrando que ocorreu um aumento de volume do ar interno devido a agitação das moléculas do ar, promovido pelo aquecimento do mesmo, comprovando uma expansão isotérmica, onde a temperatura é constante. O volume neste caso, aumenta e a pressão diminui, inversamente proporcionais, e o calor é proveniente do meio externo. Mostrou-se que todo o calor transferido pela chama foi transformado em trabalho realizado para movimentar a seringa, por isso a velocidade percebida é considerável, se comparado a transformação isobárica, que será demonstrada mais adiante e comparado as velocidades. Sendo a temperatura constante, é demonstrando assim, a primeira lei aplicada à transformação isotérmica (Q = W). Aproveitou-se o momento para discutir com os alunos, se caso fosse embebido um pano com água a baixa temperatura (água misturado com gelo) e colocássemos este pano no lugar da chama, envolto no tubo, o que aconteceria? Já preparando os alunos para a segunda lei da termodinâmica. Essa pergunta foi feita para tentar explorar o princípio periódico do processo. Perguntou-se também, porque o professor ficou tanto tempo segurando o tubo de vidro e não queimou os dedos? Todos responderam imediatamente que foi devido a baixa condutividade do vidro, sendo abordado novamente a condutividade térmica.

**Figura 12** - Experimento tubo de vidro acoplado a uma seringa
**Fonte:** Autoria própria
**Link do experimento funcionando:** https://1drv.ms/v/s!Ahv0UcMaHctOilbw329hDwbWo1di?e=Cn8mQz

### 5.3.4- 4ª aula

Continuando a abordagem dos conceitos da primeira lei da termodinâmica, foi apresentado o segundo experimento, que é uma construção própria do autor , tubo de vidro resistente a altas temperaturas acoplado a uma bola de soprar na ponta (Figura 13), de forma a não permitir que o ar encerrado dentro do conjunto tubo mais bola de soprar escapasse - demonstração da transformação isobárica - o processo foi o mesmo do experimento anterior, o tubo foi aquecido

através de uma chama, os alunos ficam observando e perceberam que o balão de soprar começou a encher, porém bem lentamente. O aluno verificou de forma visual então, que o volume de ar dentro do tubo mais bola de soprar, aumentou. 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 pouca resistência a expansão, ela foi se inflando 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, não podendo ser nem isotérmica e nem isovolumétrica. Portanto, parte do calor transferido ao ar dentro do tubo foi utilizado para fazer variar a sua energia interna, pois percebeu-se pelo contato com balão, que o ar teve sua temperatura aumentada e como houve variação de volume, o restante do calor transferido é transformado em trabalho para inflar o balão ($Q = \Delta U + W$), percebendo assim, que a velocidade com que o balão enche é bem pequena se comparado a transformação isotérmica, onde todo o calor transferido é transformado em trabalho.

**Figura 13 -** Experimento tubo de vidro acoplado a uma bexiga
**Fonte:** Autoria própria

Ainda na quarta aula, foi utilizado o terceiro experimento (Figura 14), onde foi usado um lançador de foguetes, que é uma construção própria do autor, utilizando pedaços de cano e conexões de PVC, acoplado a uma garrafa pet fixa, com a finalidade de demonstrar os conceitos da primeira lei da termodinâmica na transformação adiabática. Primeiramente foi pulverizado álcool 46º INPM 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 da Coca-Cola suporta até 150 PSI, segundo testes da fabricante) no manômetro, foi aberto o registro do lançador, liberando rapidamente a saída do

ar mais álcool que se encontrava dentro da garrafa pet, após realizar este processo, visualmente o aluno percebeu que se formou uma nuvem dentro da garrafa (um condensado de vapor de água contido no ar mais vapor de álcool) devido a diminuição rápida da temperatura, por isso foi recomendado que o aluno estivesse segurando a garrafa, para perceber através do tato esta mudança de temperatura. Neste momento o professor vai mediando e questionando que ao abrir a válvula: o que ocorreu? Ocorreu uma expansão, visto que o volume de ar que estava dentro da garrafa foi para o meio exterior, assim como ocorre num frasco de aerossol, então o volume variou. O aluno com a mão em contato com a garrafa percebeu que a temperatura caiu no momento em que a válvula foi aberta, e, portanto, a temperatura também variou e por último, ao observar o manômetro da bomba o aluno verificou que a pressão caiu a zero quase que instantaneamente quando a válvula foi aberta. Foi então demonstrado que esta transformação é adiabática, onde pressão, volume e temperatura variaram ao mesmo tempo e que praticamente não houve troca de calor com o meio externo. Neste exemplo, quando você está enchendo a garrafa com ar, você realiza trabalho sobre o ar quando o mesmo é comprimido, praticamente sem troca de calor com o meio externo, devido esse procedimento ser feito muito rapidamente, e verifica-se o aumento da temperatura da garrafa, demonstrando o aumento da variação da energia interna do ar, e portanto, trabalho sendo utilizado para fazer aumentar a variação da energia interna do ar ($\Delta U = -W$). Quando realizamos a abertura da válvula, como a expansão do ar ocorre rapidamente, o trabalho realizado pelo ar que provocou a expansão, diminui a sua energia interna ($-\Delta U = W$), percebida pelo aluno, que está com a mão em contato com a garrafa e verificando a diminuição da temperatura, e observando visualmente a condensação do ar mais vapor de álcool. Exemplos clássicos, são os desodorantes aerossóis, os frascos ficam com temperaturas menores que a do ambiente ao serem utilizados e também para extintores de incêndio.

**Figura 14 -** Lançador de Foguetes com garrafa pet fixa
**Fonte:** Autoria própria
**Link do experimento em funcionando:** https://1drv.ms/v/s!Ahv0UcMaHctOiTASXAXK2T3oz9J8?e=ggSeoD
https://1drv.ms/v/s!Ahv0UcMaHctOilgW9RqgUyBo-2q9?e=aq7mo7
https://1drv.ms/v/s!Ahv0UcMaHctOildlS8gvVQIbsqv7?e=mz5HsD

### 5.3.5- 5ª aula

Foi fornecido um texto (APÊNDICE C) sobre a segunda lei da termodinâmica, onde realizou-se a leitura na sala de aula e posteriormente uma discussão para verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o assunto. As carteiras foram organizadas de forma a representar um círculo e foi informado aos alunos que o objetivo seria relacionar o conhecimento trazido no texto com o que já vínhamos discutindo. Nesta aula foram abordados os conceitos de máquinas térmicas (1º e 2º Enunciados) e suas implicações, relembrado rapidamente energia mecânica, e enfatizando a história das máquinas térmicas.

### 5.3.6- 6ª aula

Foi apresentado o motor Stirling tipo Beta com cilindro transparente (Figura 15), que é uma construção própria do autor e explicado 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 a 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 a 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). Comparei 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 (PxV) (Figura 16), explicando cada etapa envolvida no ciclo, primeiramente a compressão isotérmica, depois o aquecimento isovolumétrico, seguido da expansão isotérmica e fechando o ciclo com o resfriamento isovolumétrico. Retomou-se nesse momento, novamente ao tubo de vidro, quando se havia perguntado aos alunos o que ocorreria se envolvêssemos um pano embebido em água misturado com gelo, na ponta do tubo de vidro, demonstrando o processo cíclico, mas salientando que teríamos que aguardar um resfriamento antes que a seringa retornasse ao ponto de partida. Em seguida associamos o primeiro e segundo enunciados da segunda lei, ao motor Stirling, explicitando o que seria a fonte quente e a fonte fria, tudo demonstrado diretamente no motor Stirling. Foi demonstrado o trabalho realizado pelo motor, foi questionado se o mesmo teria como ser aproveitado e sobre energia cinética que os discos de plástico possuíam ao estarem girando. Foi discutido sobre a partida do motor, sobre o trabalho que nós realizamos para dar a partida no motor, pra fazer a relação com o arranque

do motor ou as manivelas que eram utilizadas antigamente. Foi demonstrado o processo cíclico e ainda a periodicidade do processo. E por final, já que o motor Stirling segue o primeiro e segundo enunciados da segunda lei da termodinâmica, ele é uma máquina térmica.

**Figura 15 -** Motor ciclo Stirlig modelo Beta
**Fonte:** Autoria própria
**Link do experimento em funcionando**: https://1drv.ms/v/s!Ahv0UcMaHctOiloYNiB71JCWBv-i?e=WD2vak

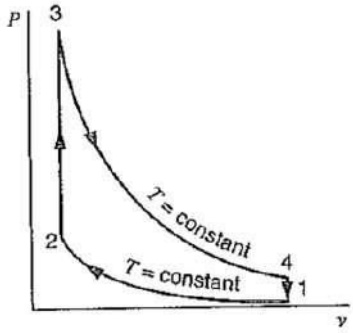



**Figura 16** – Gráfico PxV do ciclo de Stirling
**Fonte:** Hirata, 1995

### 5.3.7- 7ª aula

Continuando a abordagem da máquina térmica ainda com o uso do motor Stirling, nesta aula, foi apresentado um outro ciclo para os alunos, o ciclo Otto. 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 um vídeo demonstrativos/explicativos de motores de combustão interna tipo Otto, mais uma forma de contextualizar o uso dos motores termodinâmicos no cotidiano do aluno, que seria a máquina térmica utilizada num automóvel, num coletivo. Mas abordou-se também outros empregos da máquina térmica, por exemplo, uma

máquina térmica que impacta a conta de luz elétrica das famílias dos alunos, no caso, as termoelétricas. Foi mostrado a geração de energia elétrica com o uso de um motor termodinâmico, para fazer uma associação às termoelétricas, visto que nesta aula é utilizado um motor Stirling tipo Gama acoplado a um gerador de energia e uma lâmpada incandescente e uma lâmpada LED (Figura 17), que é uma construção própria do autor, demonstrando as três modalidades de energia envolvida, a térmica, mecânica e elétrica. Os alunos não acreditavam no que viam, como algo tão pequeno, poderia gerar luz que mantinha a sala de aula iluminada. Este motor em questão, tem sua velocidade de rotação em torno de 1100 rpm, muito maior que o motor com cilindro transparente, que em média alcança aproximadamente 200 rpm. Depois do impacto causado pela primeira demonstração, paralisei o motor e expliquei, parte por parte do motor e os alunos perceberam que este motor não diferenciava muito do tipo beta, e compreenderam que o ciclo era o mesmo, no caso o Stirling. A única diferença física, era que o pistão de trabalho foi transladado para a lateral do motor, ao invés de ficar em linha, conforme ocorre no motor beta. Depois desta abordagem feita, foi discutido com os alunos como foi possível acender a lâmpada LED e a lâmpada incandescente. Lembrando que o foco não é discutir sobre geração de energia, até porque, a matéria de eletricidade é vista pelos alunos, somente na terceira série do ensino médio, então foi discutido o princípio da conservação de energia, pra fazer a ligação, que energia era essa que fazia as lâmpadas acenderem? Os alunos já tinham relatado no outro motor, que era a energia térmica que se transformava em energia mecânica e neste momento da aula eles repetiram isso, mas não foi o suficiente. Os alunos rapidamente começaram a recordar da 5ª aula, onde retratamos sobre energia mecânica e fizeram o gancho, que deveria ter algo a ver com a energia mecânica, mas não conseguiram externar que a energia mecânica é que estava sendo transformada em energia elétrica. Então liguei novamente o motor e pedi silêncio total na sala, para que eles prestassem atenção no momento em que eu apertasse o interruptor que acendia as lâmpadas, primeiro eu apertei o interruptor da lâmpada LED e mantive pressionado por uns trinta segundos e soltei, depois apertei o interruptor da lâmpada incandescente e mantive pressionado por uns trinta segundos e soltei e por último apertei os interruptores das duas lâmpadas ao mesmo tempo e mantive pressionado por uns trinta segundos e soltei e foi perguntado: O que perceberam? Todos responderam, que diminuía de forma diferente a velocidade de giro do motor de acordo com o tipo de lâmpada que era acionada, percebido de forma visual e auditiva, pois o ruído também diminuía de acordo com o tipo de lâmpada acionada. Diminuía em maior velocidade na lâmpada incandescente do que na lâmpada LED e a diminuição era ainda maior quando se acionava as duas lâmpadas ao mesmo tempo. A partir dessa demonstração, eles perceberam que parte da

energia mecânica que está ligada ao movimento do volante do motor (5 CDs colados) tinha relação com a geração de energia elétrica, portanto, a diferença de velocidade era a diminuição da energia mecânica que, provavelmente foi transformada em energia elétrica para ascender a lâmpada e como os alunos já tinham relatado no outro motor, que era a energia térmica que se transformava em energia mecânica, demonstrou-se assim, a conservação de energia, primeira lei da termodinâmica, entre as três modalidades de energia. Lembrando que foi explicado superficialmente como funcionava um gerador de energia sem entrar em maiores detalhes, para não fugir do foco da aula. Foi salientado o uso das termoelétricas por parte dos órgãos concessionários de energia, que no momento de escassez hídrica, se utilizam deste equipamento que é uma máquina térmica, para complementar a geração de energia elétrica.

**Figura 17 -** Motor ciclo Stirlig modelo gama
**Fonte:** Autoria própria
**Link do experimento em funcionando:** https://1drv.ms/v/s!Ahv0UcMaHctOiVh2XjcEozkSJFvV?e=lNjTzw

### 5.3.8- 8ª aula

É aplicado o pós-teste (APÊNCIDE B) composto de dez questões, envolvendo conceitos como: calor, temperatura, condutividade térmica e das dez questões, cinco são voltadas para a primeira e segunda leis da termodinâmica;

## 5.4 Instrumentos de coletas de dados

Foram utilizados o pré-teste e pós-teste para a coleta de dados deste trabalho. Das questões utilizadas nos testes, sete delas são idênticas entre os testes. Os testes se encontram no (APÊNCIDE A e B).

O pré-teste é composto por nove questões objetivas. Da questão 1 até a questão 7, abrangem conceitos como: calor, temperatura, condutividade térmica, com a finalidade de averiguar o que o aluno reteve cognitivamente do conteúdo que foi lecionado no primeiro trimestre e início do segundo trimestre, que são conteúdos base para a ancoragem do novo conteúdo em questão. Na

questão 8 e 9, abrangem a primeira e segunda leis da termodinâmica, com o intuito de verificar se algum aluno já possa ter visto o conteúdo, apesar de não haver repetentes nestas duas turmas, mas podem ter se deparado com estes conteúdos em cursos técnicos ou em alguma experiência profissional que o aluno possa ter tido que envolva o assunto em questão.

O pós-teste é composto por dez questões objetivas. Da questão 1 até a questão 5, abrangem conceitos como: calor, temperatura, condutividade térmica, agora, com a finalidade de averiguar se esta sequência didática também é capaz de auxiliar no reforço da fixação dos conteúdos já estudados no primeiro trimestre e início do segundo trimestre e da questão 6 até a questão 10, abrangem a primeira e segunda leis da termodinâmica, com o intuito de verificar o que os alunos conseguiram compreender do conteúdo da primeira e segunda leis da termodinâmica apresentados na sequência didática.

Foi utilizado um questionário, com duas questões abertas no fim do pós-teste, não para averiguar dados sobre o conteúdo em questão, mas para que os alunos avaliassem a aula, retratando os pontos positivos e negativos desta sequência didática. As respostas das questões se encontram no item 6.4.

## 6. ANÁLISE DE DADOS

Na aplicação desta sequência didática, utilizamos duas turmas da segunda série do ensino médio, a 2M01 com 22 alunos e a 2M02 com 24 alunos. O número de alunos que serão considerados para nossa análise será de 18 alunos da turma 2M01 e 19 alunos da turma 2M02, totalizando 37 alunos, pois foi o quantitativo de alunos que realizou tanto o pré-teste quanto o pós-teste, sendo desconsiderados os alunos que fizeram apenas um dos testes.

Será feita uma análise 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. Faremos às análises dos resultados entre o pré-teste e o pós-teste para a turma 2M01, em seguida para a turma 2M02 e depois faremos a análise considerando as duas turmas juntas. 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 didática.

### 6.1 Resultados obtidos para turma 2M01

De acordo com o Gráfico 1, constatamos que 39% dos alunos alcançaram menos de 60% de acertos nos conceitos gerais do pré-teste, em contrapartida, no Gráfico 2, 56% dos alunos alcançaram mais de 80% de acertos no pós-teste, demonstrando uma surpreendente melhora no número de acertos após a aplicação da sequência didática.

**Pré-teste**

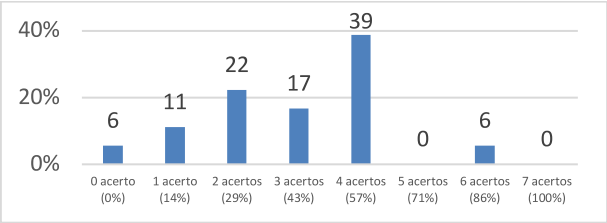



**Gráfico 1-** questões de 1 a 7 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

**Pós-teste**

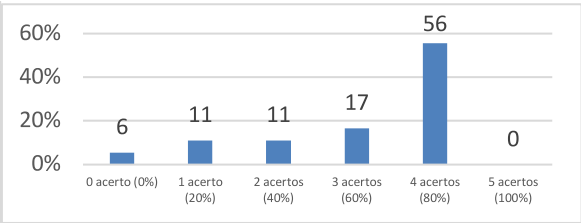



**Gráfico 2 -** questões de 1 a 5 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

De acordo com o Gráfico 3, 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 4, 39% dos alunos alcançaram 60% de acertos e 22%

obtiveram 80% de acertos no pós-teste, demonstrando uma boa assimilação do conteúdo de termodinâmica, após a aplicação da sequência didática.

**Pré-teste**

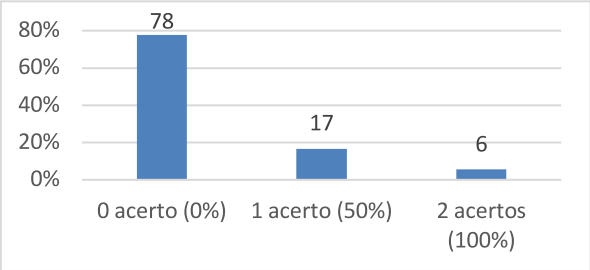



**Gráfico 3 -** questões de 8 a 9 que envolviam os conceitos específicos conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

**Pós-teste**

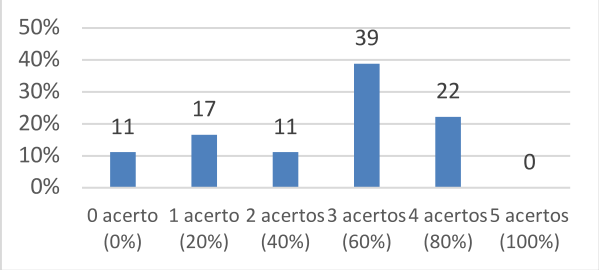



**Gráfico 4 -** questões de 6 a 10 que envolviam os conceitos específicos, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

De acordo com o Gráfico 5, constatamos que 39% dos alunos ficaram entre 44% e 55% acertos nas 9 questões, considerando agora os conceitos gerais, a primeira e segunda leis da termodinâmica, em contrapartida, no Gráfico 6, 67% dos alunos ficaram entre 50% e 80% de acertos no pós-teste, demonstrando uma boa assimilação do conteúdo como um todo, após a aplicação da sequência didática.

**Pré-teste**

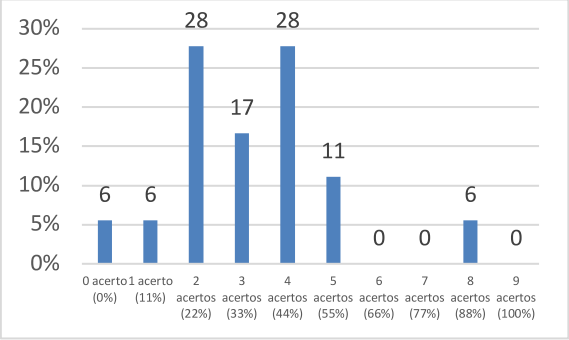



**Gráfico 5-** questões de 1 a 9 que envolviam todos conceitos, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

**Pós-teste**

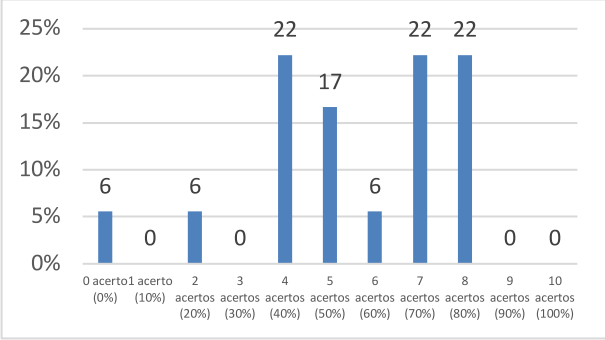



**Gráfico 6 -** questões de 1 a 10 que envolviam todos os conceitos, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

## 6.2 Resultados obtidos para turma 2M02

Observamos que a turma 2M02, obteve resultados bem mais expressivos que a turma 2M01, tanto no pré-teste quanto no pós-teste. De acordo com o Gráfico 7, constatamos que 52% dos alunos ficaram entre 57% e 86% de acertos nos conceitos gerais do pré-teste, em contrapartida,

no Gráfico 8, 69% dos alunos alcançaram entre 60% e 100% de acertos do pós-teste, demonstrando uma boa melhora no número de acertos após a aplicação da sequência didática.

**Pré-teste**

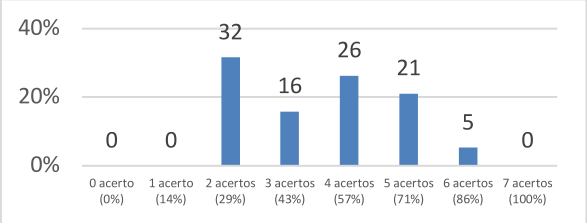



**Gráfico 7-** questões de 1 a 7 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

**Pós-teste**

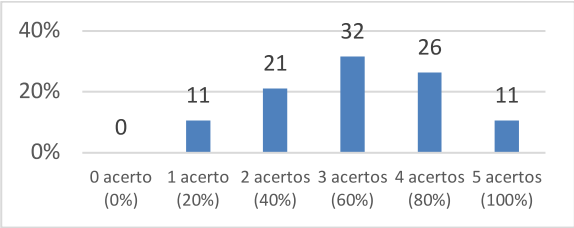



**Gráfico 8 -** questões de 1 a 5 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

De acordo com o Gráfico 9, constatamos que 79% 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 10, 37% dos alunos alcançaram 60% de acertos e 16% obtiveram 80% de acertos no pós-teste, demonstrando uma boa assimilação do conteúdo de termodinâmica, após a aplicação da sequência didática.

**Pré-teste**

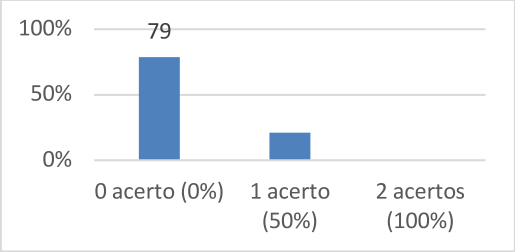



**Gráfico 9 -** questões de 8 a 9 que envolviam os conceitos específicos conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

**Pós-teste**

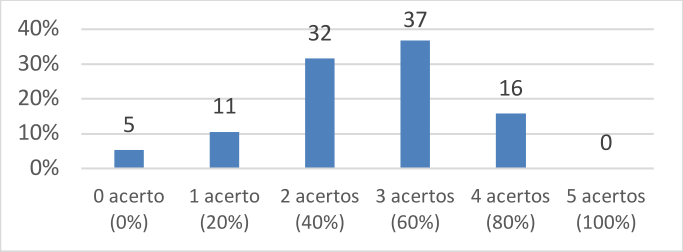



**Gráfico 10 -** questões de 6 a 10 que envolviam os conceitos específicos, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

De acordo com o Gráfico 11, constatamos que 58% dos alunos ficaram entre 44% e 66% acertos nas 9 questões, considerando agora os conceitos gerais, a primeira e segunda leis da termodinâmica, em contrapartida, no Gráfico 12, 74% dos alunos ficaram entre 50% e 80% de acertos no pós-teste, demonstrando uma boa assimilação do conteúdo como um todo, após a aplicação da sequência didática.

**Pré-teste**

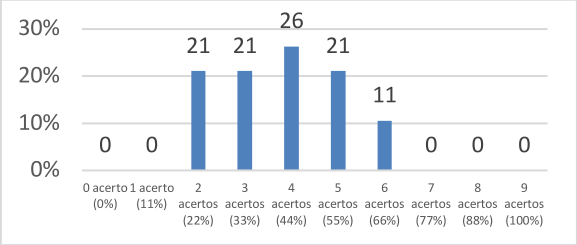



**Gráfico 11-** questões de 1 a 9 que envolviam todos conceitos, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

**Pós-teste**

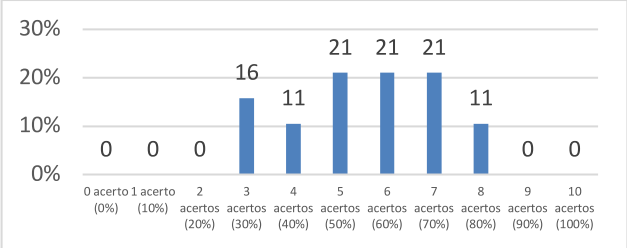



**Gráfico 12 -** questões de 1 a 10 que envolviam todos os conceitos, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

## 6.3 Resultados obtidos para turma 2M01 e 2M02 juntas

Esta análise considera as duas turmas juntas, totalizando 37 alunos. De acordo com o Gráfico 13, constatamos que 48% dos alunos ficaram entre 57% e 86% de acertos nos conceitos gerais do pré-teste, em contrapartida, no Gráfico 14, 70% dos alunos alcançaram entre 60% e 100% de acertos do pós-teste, demonstrando uma boa melhora no número de acertos após a aplicação da sequência didática.

**Pré-teste**

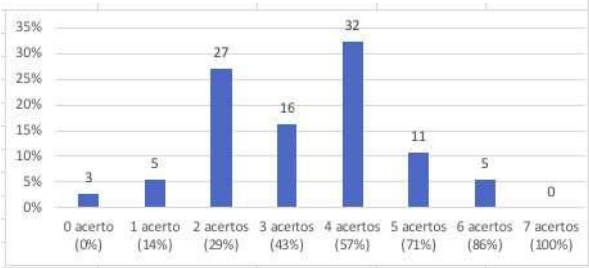



**Gráfico 13-** questões de 1 a 7 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

**Pós-teste**

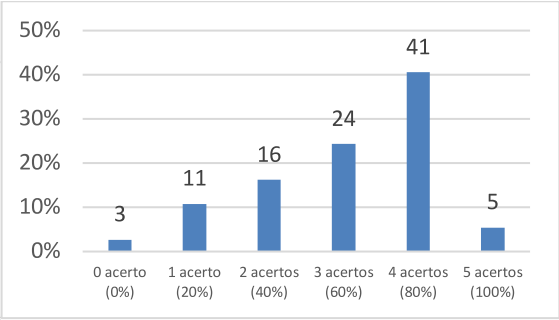



**Gráfico 14 -** questões de 1 a 5 que envolviam os conceitos gerais, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

De acordo com o Gráfico 15, 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 16, 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.

**Pré-teste**

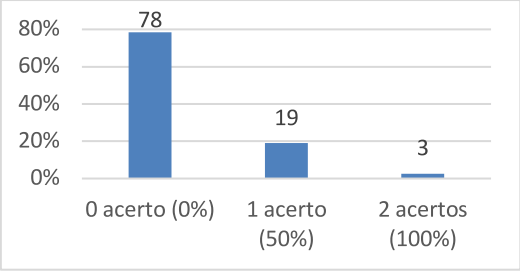



**Gráfico 15 -** questões de 8 a 9 que envolviam os conceitos específicos conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

**Pós-teste**

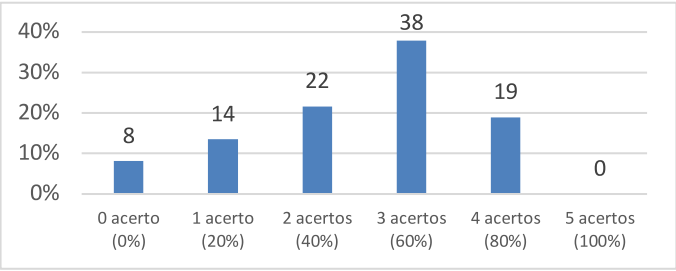



**Gráfico 16 -** questões de 6 a 10 que envolviam os conceitos específicos, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

De acordo com o Gráfico 17, constatamos que 51% dos alunos ficaram entre 44 e 88% acertos nas 9 questões, considerando agora os conceitos gerais, a primeira e segunda leis da termodinâmica, em contrapartida, no Gráfico 18, 71% dos alunos ficaram entre 50% e 80% de acertos no pós-teste, demonstrando uma boa assimilação do conteúdo como um todo, após a aplicação da sequência didática.

**Pré-teste**

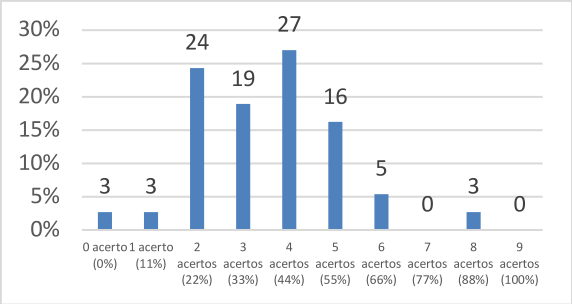



**Gráfico 17-** questões de 1 a 9 que envolviam todos conceitos, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

**Pós-teste**

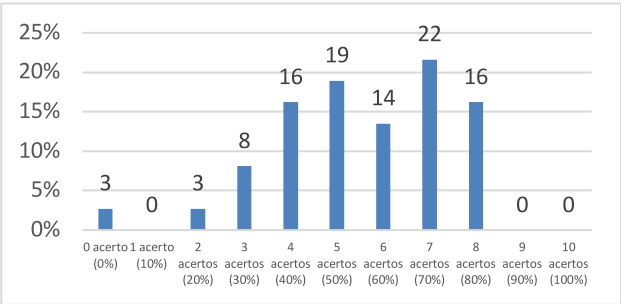



**Gráfico 18 -** questões de 1 a 10 que envolviam todos os conceitos, conforme descrito no item 5.4
**Fonte:** Autoria própria

### 6.4 Avaliação da satisfação com a aplicação da sequência didática por parte dos alunos, com o uso de um questionário

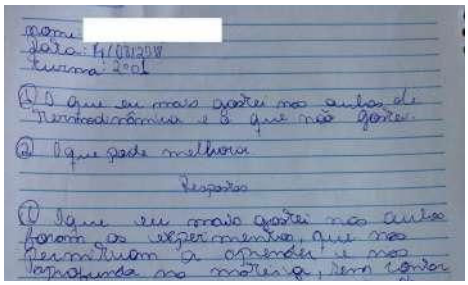
Foi solicitado aos alunos que respondessem duas perguntas, após o término do pós-teste.

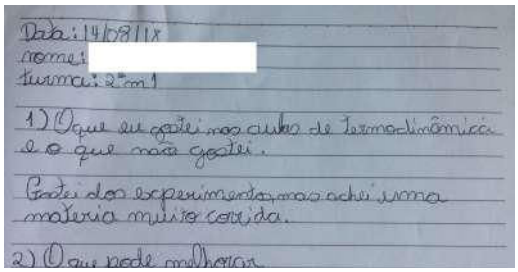
1- O que mais gostou nas aulas de termodinâmica e o que não gostou?

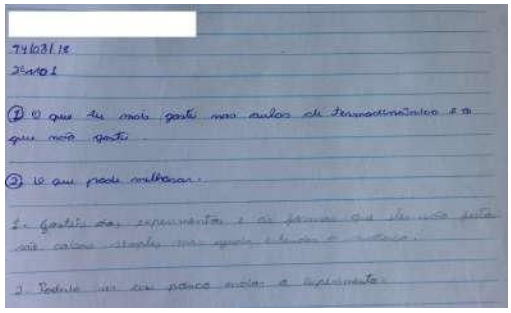
2- O que pode melhorar?

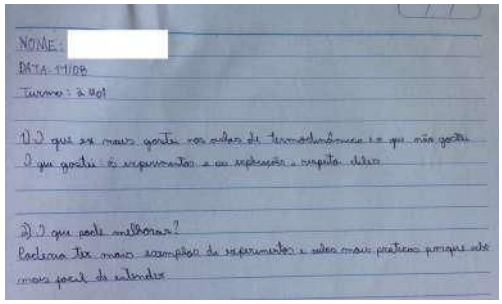
As respostas demonstraram que os experimentos, motivaram os alunos a prestarem atenção no conteúdo e nas explicações e a participarem mais das aulas, houveram reiteradas solicitações de mais experimentos, conforme imagens das respostas abaixo.

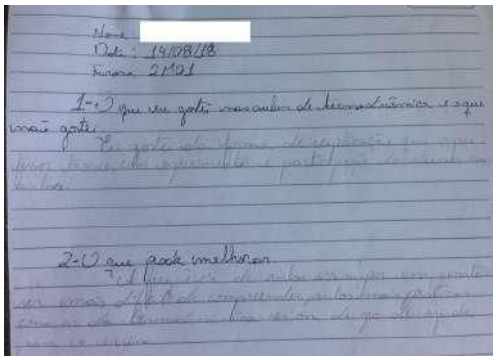
## Turma 2M01

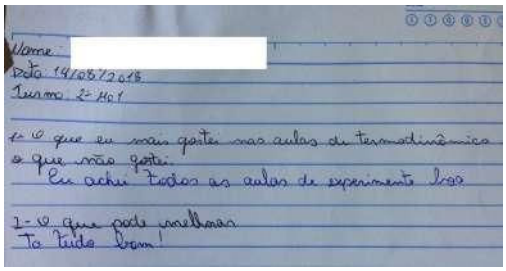

nome [redacted]
Data: 14/08/2018
Turma: 2º01
1) O que eu mais gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei.
2) O que pode melhorar
Respostas
1) O que eu mais gostei nas aulas foram os experimentos, que nos permitiram a aprender e nos aprofundar na matéria, sem contar

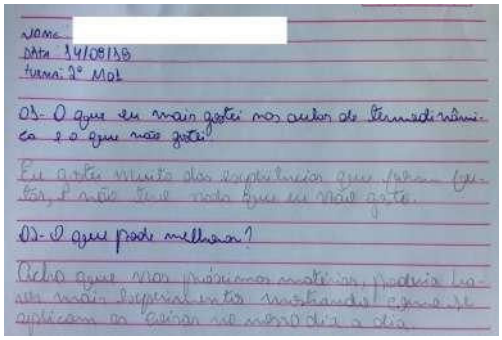

Data: 14/08/18
nome: [redacted]
turma: 2ºm1
1) O que eu gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei.
Gostei dos experimentos, mas achei uma materia muito corrida.
2) O que pode melhorar

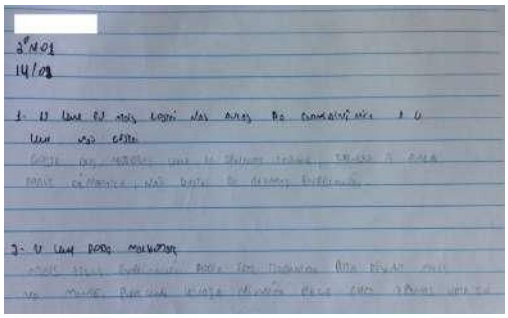

[redacted]
14/08/18
2ºM01
1) O que eu mais gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei.
2) O que pode melhorar.
1. Gostei dos experimentos e as formas que eles não foram não [illegible]
2. Poderia ser um pouco mais o experimento.

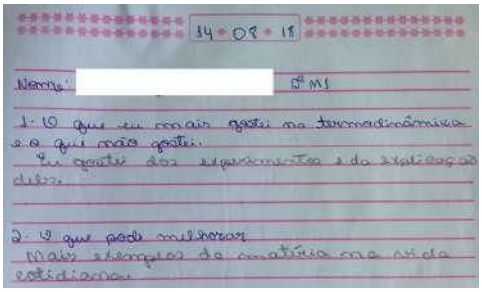

NOME: [redacted]
DATA: 14/08
Turma: 2 M01
1) O que eu mais gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei
O que gostei os experimentos e as explicações e respeitar deles
2) O que pode melhorar?
Poderia ter mais exemplos de experimentos e aulas mais praticas porque ele mais facil de entender

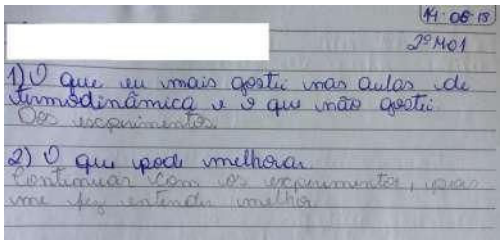

Nome [redacted]
Data: 14/08/18
Turma: 2M01
1- O que eu gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei.
Eu gostei da forma de explicação [illegible]
2- O que pode melhorar
[illegible]

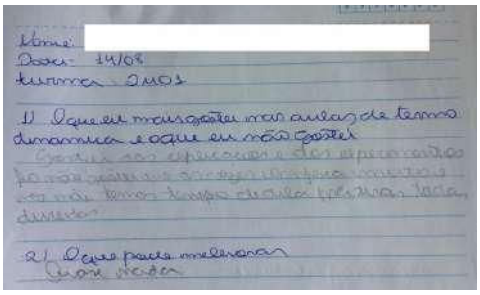

Nome [redacted]
Data 14/08/2018
Turma 2º M01
1- O que eu mais gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei.
Eu achei todas as aulas de experimento boa
2- O que pode melhorar
Tá tudo bom!


Nome [redacted]
DATA 14/08/18
turma: 2º M01
01- O que eu mais gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei?
Eu gostei muito das experiências que foram feitas, e não tive nada que eu não gostei.
02- O que pode melhorar?
Acho que nas próximas matérias, poderia haver mais experimentos mostrando como se aplicam as coisas no nosso dia a dia.


[redacted]
2ºM01
14/08
1- O que eu mais gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei
[illegible]
2- O que pode melhorar
[illegible]

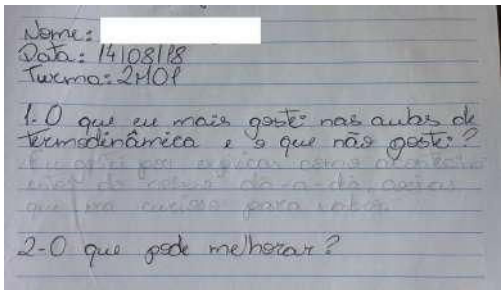

14 - 08 - 18
Nome: [redacted] 2ºM1
1- O que eu mais gostei na termodinâmica e o que não gostei.
Eu gostei dos experimentos e da explicação deles.
2- O que pode melhorar
Mais exemplos da matéria na vida cotidiana.


[redacted] 14-08-18
2ºM01
1) O que eu mais gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei
Dos experimentos.
2) O que pode melhorar
Continuar com os experimentos, pois me fez entender melhor.


Nome: [redacted]
Data: 14/08
turma: 2M01

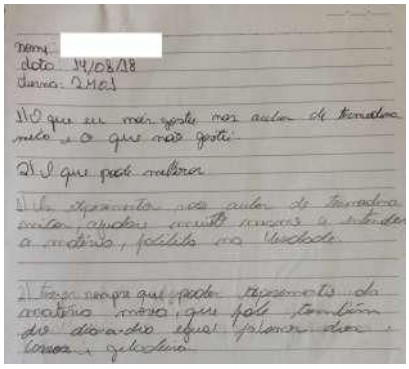
1) O que eu mais gostei nas aulas de termodinamica e o que eu não gostei

2) O que pode melhorar


Nome: [redacted]
Data: 14/08/18
Turma: 2M01

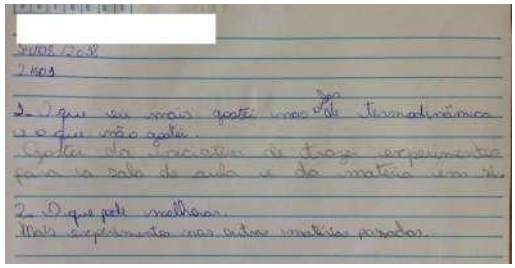
1- O que eu mais gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei?

2- O que pode melhorar?


Nome: [redacted]
data: 14/08/18
turma: 2M01

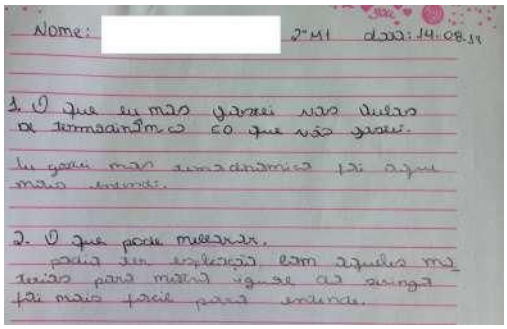
1) O que eu mais gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei

2) O que pode melhorar


[redacted]
14/08/2018
2M01

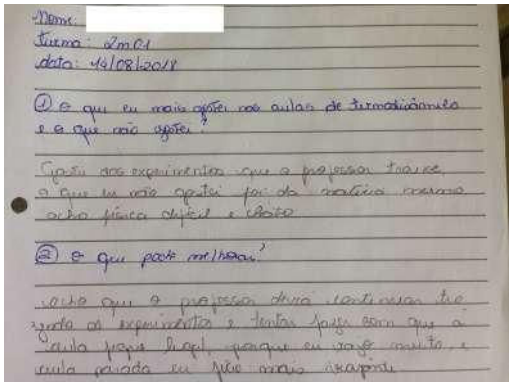
1- O que eu mais gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei.

2- O que pode melhorar.


Nome: [redacted] 2º M1 data: 14.08.18

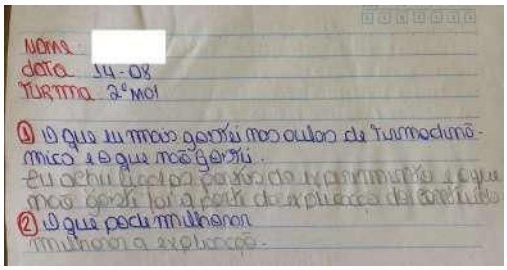
1. O que eu mais gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei.

2. O que pode melhorar.


Nome: [redacted]
turma: 2M01
data: 14/08/2018

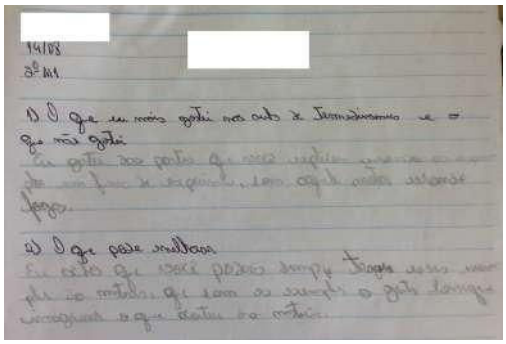
① o que eu mais gostei nas aulas de termodinâmica e o que não gostei.

② o que pode melhorar?


NOME: [redacted]
data 14-08
TURMA 2ºM01

① O que eu mais gostei nas aulas de Termodinâmica e o que não gostei.

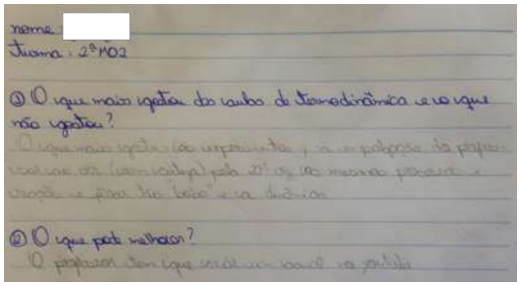
② O que pode melhorar

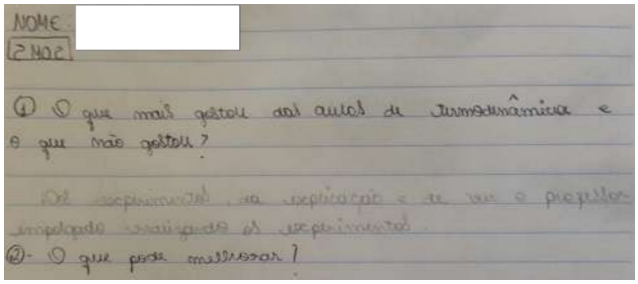

[redacted]
14/08
2º M1 [redacted]

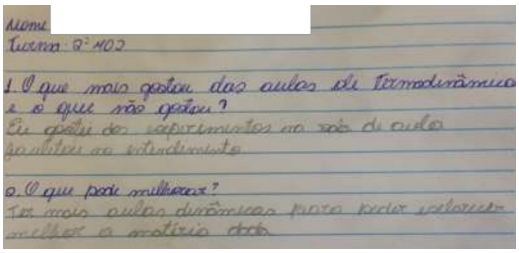
1) O que eu mais gostei nas aulas de Termodinâmica e o que não gostei

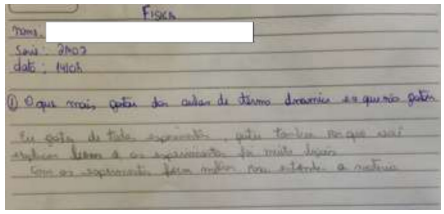
2) O que pode melhorar

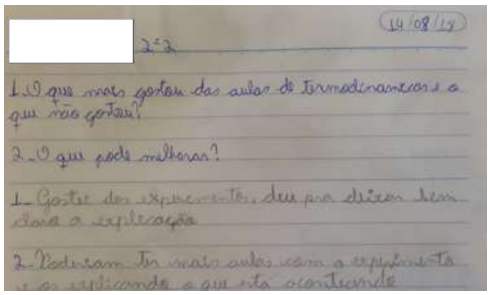
## Turma 2M02

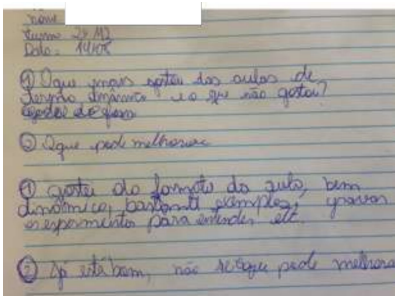

nome:
Turma: 2ºM02
① O que mais gostou das aulas de termodinâmica e o que não gostou?
② O que pode melhorar?

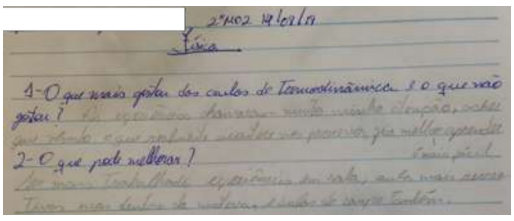

NOME:
2M02
① O que mais gostou das aulas de termodinâmica e o que não gostou?
Dos experimentos, da explicação e de ver o projetor empolgado realizando os experimentos.
②- O que pode melhorar?

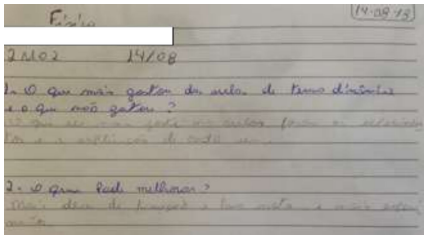

Nome
Turma: 2º M02
1. O que mais gostou das aulas de termodinâmica e o que não gostou?
Eu gostei dos experimentos na sala de aula facilitou no entendimento
2. O que pode melhorar?
Ter mais aulas dinâmicas para poder esclarecer melhor a matéria dada

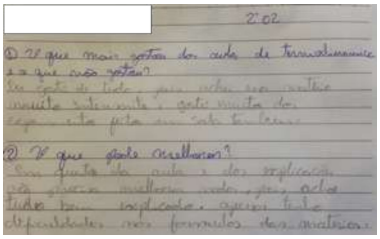

Física
nome:
Série: 2M02
data: 14/08
① O que mais gostou das aulas de termo dinâmica e o que não gostou
Eu gostei de todos experimentos, gostei também por que você explicou bem e os experimentos foi muito bom
Com os experimentos foram melhor para entender a matéria

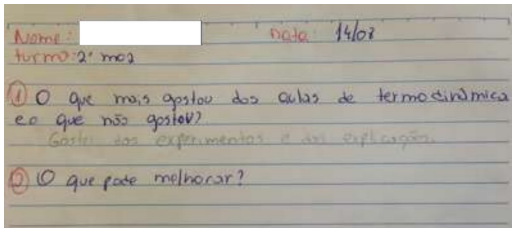

14/08/19
2º2
1. O que mais gostou das aulas de termodinamica e o que não gostou?
2. O que pode melhorar?
1. Gostei dos experimentos, deu pra deixar bem claro a explicação
2. Poderiam ter mais aulas com o experimento e os explicando o que está acontecendo

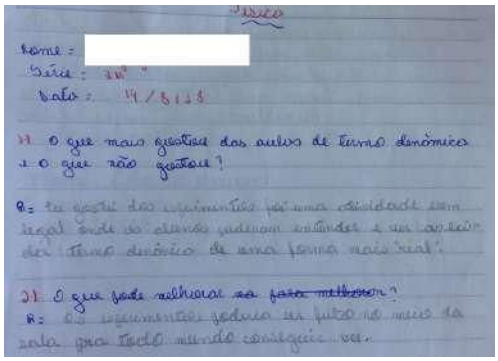

nome
Turma: 2º M02
Data: 14/08
① O que mais gostou das aulas de termo dinâmica e o que não gostou?
Gostei de tudo
② O que pode melhorar
① Gostei do formato da aula, bem dinâmico, bastante exemplos, gravar os experimentos para entender etc.
② Já está bem, não sei o que pode melhorar

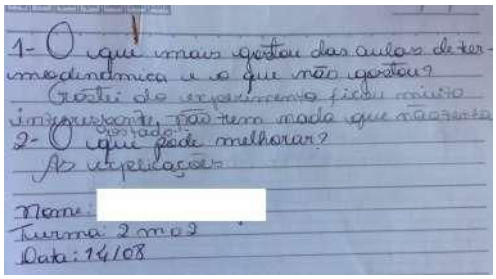

2ºM02 14/08/19
Física
1- O que mais gostou das aulas de termodinâmica e o que não gostou?
2- O que pode melhorar?

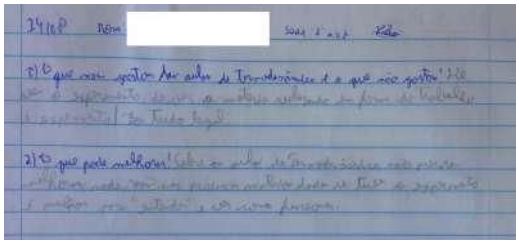

Física
14-08-19
2M02 14/08
1. O que mais gostou das aulas de termo dinâmica e o que não gostou?
2. O que pode melhorar?

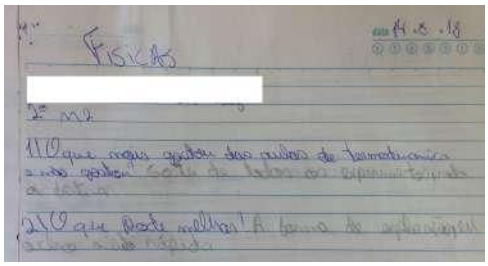

2º02
① O que mais gostou das aulas de termodinamica e o que não gostou?
② O que pode melhorar?

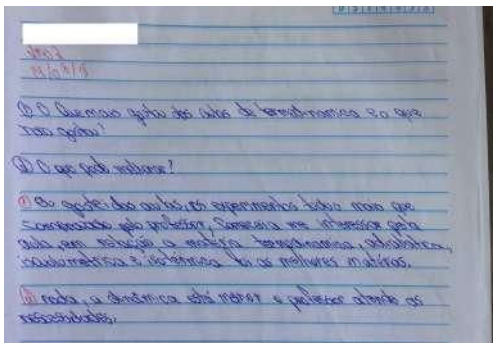

Nome:
Data: 14/08
turma: 2º m02
① O que mais gostou das aulas de termodinâmica e o que não gostou?
Gostei dos experimentos e das explicações.
② O que pode melhorar?

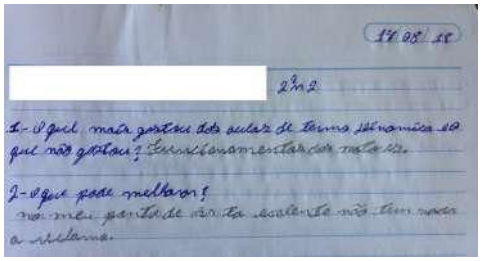

Física
Nome: [redacted]
Série: 2º
Data: 14/8/18
1) O que mais gostou das aulas de Termodinâmica e o que não gostou?
R: Eu gostei dos experimentos por uma curiosidade com legal pois os alunos puderam entender e ver como é o Termo dinâmico de uma forma mais real.
2) O que pode melhorar ~~na para melhorar~~?
R: O experimento poderia ser feito no meio da sala para todo mundo conseguir ver.

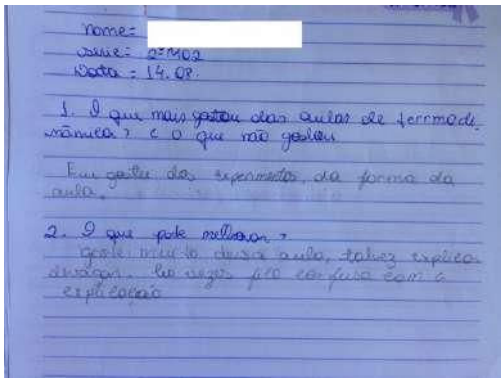

1- O que mais gostou das aulas de termodinâmica e o que não gostou?
Gostei do experimento foi muito importante, não tem nada que não gostei
2- O que pode melhorar?
As explicações
Nome: [redacted]
Turma: 2 MO2
Data: 14/08

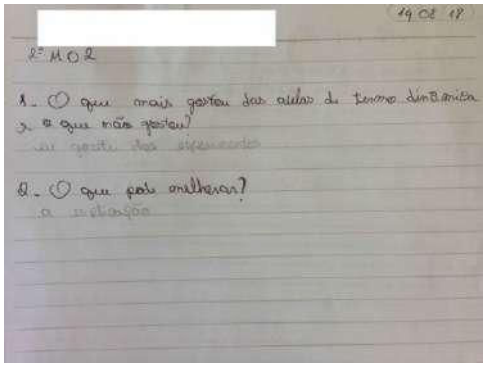

14/08 Nome: [redacted] Série: 2º MO2 Rita
1) O que mais gostou das aulas de Termodinâmica e o que não gostou? Eu gostei do experimento, ele ajuda a entender melhor a matéria, e a gostei da forma de trabalhar o experimento. Eu não gostei.
2) O que pode melhorar? Acho que as aulas de Termodinâmica não precisa melhorar, mas acho melhor dar um tempo de fazer o experimento e melhor por "atividade" e as suas funções.

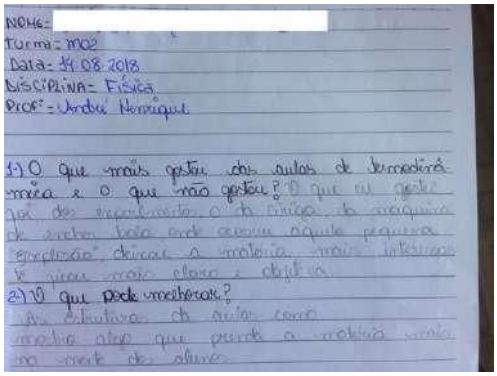

14.8.18
Física
[redacted]
2º MO2
1) O que mais gostou das aulas de Termodinâmica e não gostou? Gostei de todos os experimentos e a teoria.
2) O que pode melhorar? A forma de explicação pois é muito rápida.


[redacted]
MO2
14/8/18
1) O Termo que gostou das aulas de termodinâmica e o que não gostou?
2) O que pode melhorar?
1) Os experimentos das aulas de experimentos, sobre mais que [illegible] do [illegible], [illegible] os alunos que não [illegible] a matéria termodinâmica, [illegible] e [illegible] os [illegible] matérias.
2) Acho a dinâmica das aulas e [illegible] dentro do necessário.


14.08.18
[redacted] 2º M2
1- O que mais gostou das aulas de Termo dinâmica e o que não gostou? Experimentos da matéria.
2- O que pode melhorar?
no meu ponto de vista escolhe não tem nada a melhorar.


Nome: [redacted]
Série: 2º MO2
Data: 14.08.
1. O que mais gostou das aulas de termodinâmica? e o que não gostou
Eu gostei dos experimentos, da forma da aula.
2. O que pode melhorar?
Gostei muito dessa aula, talvez explicação. Me saí pois confusa com a explicação


14.08.18
[redacted]
2º MO2
1. O que mais gostou das aulas de Termo dinâmica e o que não gostou?
eu gostei dos experimentos
2. O que pois melhorar?
a explicação



NOME: [redacted]
Turma: M02
Data: 14.08.2018
DISCIPLINA: Física
Profº: André Henrique

1) O que mais gostou das aulas de termodinâmica e o que não gostou? O que eu gostei foi dos experimentos, o da cirigo, da máquina de encher bola onde ocorreu aquela pequena "explosão" deixou a matéria mais interessante, ficou mais claro e objetiva.

2) O que pode melhorar?
As estruturas das aulas como mostra algo que prende a matéria mais na mente dos alunos.

# 7 CONCLUSÕES

O que sempre observei nas escolas por onde lecionei e continuo observando, é que a grande maioria dos meus colegas professores de Física, continuam com a aprendizagem mecânica dos conteúdos e com aulas tradicionais, esse fato, tem desestimulado os alunos a participarem das aulas de Física.

Nesta sequência didática abordou-se os conceitos Físicos envolvidos nas primeira e segunda leis da termodinâmica com a utilização de experimentos, tentando demonstrar de forma visual e clara o emprego de cada conceito nos experimentos, organizando-os numa sequência de forma a construir o pensamento do aluno sobre o tema em questão. A nossa proposta sempre foi de fazer com que os alunos enxergassem as aulas de Física como interessantes e úteis para eles, que o aluno, pudesse observar em sua vida, os diversos conceitos físicos ocorrendo no seu dia a dia, trazer essa realidade do aluno pra escola, mas também levar os conceitos físicos para sua realidade.

Podemos observar uma grande melhora no percentual de acertos dos alunos nas análises do pós-teste se comparado com o pré-teste, reforçando que quando o aluno entende o conceito relacionando o mesmo com o que ocorre em um experimento, isso auxilia na ancoragem de novos conhecimentos no cognitivo do aluno. Consideramos que o experimento motiva o aluno a participar e a prestar mais atenção na aula, conforme afirma ARAUJO E ADIB (2003).

> *[...] de modo convergente a esse âmbito de preocupações, o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente (ARAUJO e ADIB, 2003, p. 02).*

Nós apresentamos experimentos demonstrativos, no qual o aluno, não intervêm no experimento, até por motivo de segurança pessoal do aluno, devido os experimentos utilizados envolverem o uso de chamas, mas tem experimentos, que o aluno pode manusear o mesmo, pode desmontá-lo, remontá-lo, essa é uma experiência muito interessante para o aprendiz. Eu sempre utilizei experimentos em minhas aulas, mas nunca de forma organizada, sempre tudo muito solto, sem explorar melhor o potencial dos experimentos, sem nenhum referencial teórico.

> *A experimentação é um fazer elaborado, construído, negociado historicamente, que possibilita através de processos internos próprios estabelecer "verdades científicas". "Assim[...] passaram [os investigadores] a dar importantes contribuições para a nova tendência ao experimentalismo, pois um dos traços característicos da revolução científica é a substituição da "experiência" evidente por si mesma que formava a base da filosofia natural escolástica por uma noção de conhecimentos especificamente concebidos para esse propósito." (HENRY, 1998 apud ALVES FILHO, 2000[a], p.150.).*

Assim é preciso argumentar a importância dessas atividades para o ensino de ciências como um todo, que podem permitir o desenvolvimento das habilidades e despertar o cognitivo dos alunos, além de proporcionar ao professor momentos de aprendizagem, contribuindo dessa forma com a sua postura didática.

## REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, Jose de Pinho. **Atividades experimentais:** do método a prática construtivista. 2000. 303 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-194, Junho. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**: Informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento. Rio de Janeiro, 2003c, 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citação em documentos. Rio de Janeiro, 2002b. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6022**: informação e documentação: artigo em publicação periódica científica impressa: apresentação. Rio de Janeiro, 2003a. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: elaboração: referências. Rio de Janeiro, 2002a. 24 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6028**: resumos. Rio de Janeiro, 2003b. 2 p.

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

AUSUBEL, David Paul.; Novak, J.D.; Hanesian, **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AUSUBEL, David Paul. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa, 2003.

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

BARROS, Robledo Wakin. **Avaliação Teórica e Experimental do Motor Stirling Modelo solo 161 Operando com Diferentes Combustíveis**. Itajubá: UNIFEI, 2005. Disponível em: https://saturno.unifei.edu.br/bim/0030363.pdf . Acesso em 14 jan. 2019.

BONJORNO & CLINTON, **Física Fundamental – Volume 2**, 3ª Edição - Editora FTD, São Paulo, 2016.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C.; **"A belle-époque da ciência (séc. XIX)"-Col. Breve História da Ciência Moderna. v.4**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2008.

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

Costa, Carlos José da Silva, **Cola da web**; Disponível em https://www.coladaweb.com/fisica/termologia/termodinamica. Acesso em 14 jan. 2019.

CRUZ, Vinicius Guimarães da. **Desenvolvimento experimental de um motor Stirling tipo gama**. Universidade Federal da Paraíba: João Pessoa, 2012.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Secretaria de Educação do Espírito Santo. **Currículo Básico Escola Estadual.** Secretaria da Educação do Estado do Espírito Santo, Vitória, ES, 2009.

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica**. Volume 2. 8ª edição. Editora LTC, 2009.

HENRY, John. A revolução científica e as origens da ciência moderna. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

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

MOREIRA, Marco Antônio. **O que é afinal aprendizagem significativa**; Curriculum revista de teoría, investigación y práctica educativa. La Laguna, Espanha. n. 25, p. 29-56, mar. 2012.

MORETTO, Vasco Pedro. **Prova – um momento privilegiado de estudo – não um acerto de contas.** 3ª ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2003.

RESPONDEAI home page. Disponível em: https://www.respondeai.com.br/workspace/topico/126/1575/teoria/1500 . Acesso em 09 de jul. 2019.

TIPLER, P. A. **Física para engenheiros e cientistas** Vol. 1, (LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2009), 6ª ed.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A – Pré-Teste

**Pergunta 1:** Considere dois corpos de mesma massa e constituídos pela mesma substância, inicialmente com temperaturas diferentes, conforme figura a seguir:

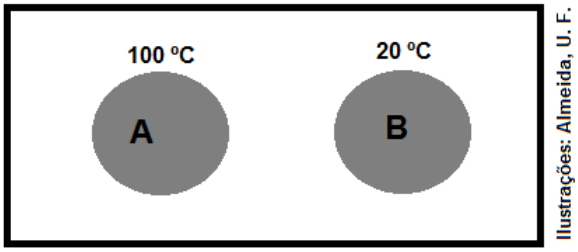



**Figura 20.** Esquema de dois corpos confinados em um recipiente isolado de influências externas.

Após determinado intervalo de tempo, o que podemos afirmar?

a) A temperatura do corpo A passou para o corpo B e o sistema atinge o equilíbrio térmico.
b) O calor do corpo A passou para o corpo B e o sistema atinge o equilíbrio térmico.
c) O fluxo de energia térmica resultante tem sentido espontâneo do corpo A para o corpo B.
d) O fluxo de energia térmica resultante tem sentido espontâneo do corpo B para o corpo A.
e) O calor do corpo A diminui e o do corpo B aumenta.

**Pergunta 2:** (Enem PPL 2013) É comum nos referirmos a dias quentes como dias "de calor". Muitas vezes ouvimos expressões como "hoje está calor" ou "hoje o calor está muito forte" quando a temperatura ambiente está alta. No contexto científico, é correto o significado de "calor" usado nessas expressões?

a) Sim, pois o calor de um corpo depende de sua temperatura.
b) Sim, pois calor é sinônimo de alta temperatura.
c) Não, pois calor é energia térmica em trânsito.
d) Não, pois calor é a quantidade de energia térmica contida em um corpo.
e) Não, pois o calor é diretamente proporcional à temperatura, mas são conceitos diferentes.

**Pergunta 3:** Na figura 1 o cozinheiro segura um recipiente que contém um alimento que acabou de sair do forno. Na figura 2, segura um recipiente contendo gelo. Marque a situação que você julga correta.

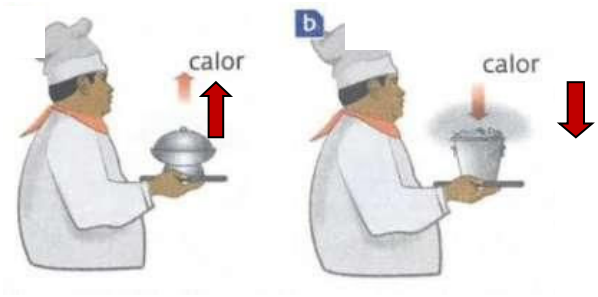



Fig.1 Fig.2

a) Na situação 1 está havendo trocas de calor com o ambiente, porém isso não acontece na situação 2.
b) Nas duas situações está havendo trocas de calor com o ambiente.
c) Na figura 1 há mais calor contido no recipiente 1 do que no recipiente 2.
d) Na figura 2 não existe calor no recipiente.
e) Não é possível responder.

**Pergunta 4:**

Disponível em: http://casadosnoopy.blogspot.com. Acesso em: 14 jun. 2011.

**Pergunta 4:** (Enem 2013) Quais são os processos de propagação de calor relacionados à fala de cada personagem?
a) Convecção e condução.
b) Convecção e irradiação.
c) Condução e convecção.
d) Irradiação e convecção.
e) Irradiação e condução.

**Pergunta 5:** (Enem 2012) Em dias com baixas temperaturas, as pessoas utilizam casacos ou blusas de lã com o intuito de minimizar a sensação de frio. Fisicamente, esta sensação ocorre pelo fato de o corpo humano liberar calor, que é a energia transferida de um corpo para outro em virtude da diferença de temperatura entre eles. A utilização de vestimenta de lã diminui a sensação de frio, porque:

a) possui a propriedade de gerar calor.
b) é constituída de material denso, o que não permite a entrada do ar frio.
c) diminui a taxa de transferência de calor do corpo humano para o meio externo.
d) tem como principal característica a absorção de calor, facilitando o equilíbrio térmico.
e) está em contato direto com o corpo humano, facilitando a transferência de calor por condução.

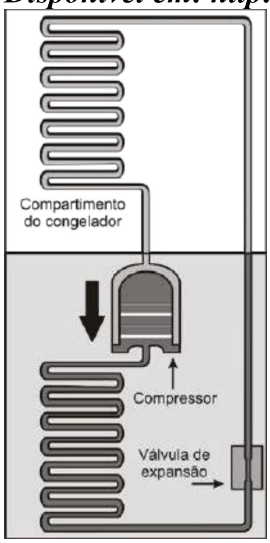
**Pergunta 6:** (Enem 2012) Chuveiros elétricos possuem uma chave para regulagem da temperatura verão/inverno e para desligar o chuveiro. Além disso, é possível regular a temperatura da água, abrindo ou fechando o registro. Abrindo, diminui-se a temperatura e fechando, aumenta-se. Aumentando-se o fluxo da água há uma redução na sua temperatura, pois:

a) aumenta-se a área da superfície da água dentro do chuveiro, aumentando a perda de calor por radiação.
b) aumenta-se o calor especifico da água, aumentando a dificuldade com que a massa de água se aquece no chuveiro.
c) diminui-se a capacidade térmica do conjunto água/chuveiro, diminuindo também a capacidade do conjunto de se aquecer.
d) diminui-se o contato entre a corrente elétrica do chuveiro e a água, diminuindo também a sua capacidade de aquecê-la.
e) diminui-se o tempo de contato entre a água e a resistência do chuveiro, diminuindo a transferência de calor de uma para a outra.

**Pergunta 7:** Após um dia de aula, você volta para casa e encosta a mão na maçaneta metálica da porta de sua casa e depois na madeira da porta. Você fica curioso ao perceber que, ao encostar sua mão na maçaneta, a sensação de "frio" é maior que quando você encosta a mão na madeira. Sobre o fenômeno físico ocorrido é correto afirma que:

a) A madeira está a uma temperatura maior que o metal.
b) Ambos estão a mesma temperatura, mas o metal é melhor condutor de calor.
c) Ambos estão a mesma temperatura, mas o metal tem mais frio.
d) O metal está a uma temperatura menor que a do ambiente.
e) A madeira está a uma temperatura maior que a do ambiente.

**Pergunta 8:** (Enem 2009) A invenção da geladeira proporcionou uma revolução no aproveitamento dos alimentos, ao permitir que fossem armazenados e transportados por longos períodos. A figura apresentada ilustra o processo cíclico de funcionamento de uma geladeira, em que um gás no interior de uma tubulação é forçado a circular entre o congelador e a parte externa da geladeira. É por meio dos processos de compressão, que ocorre na parte externa, e de expansão, que ocorre na parte interna, que o gás proporciona a troca de calor entre o interior e o exterior da geladeira.
***Disponível em: http://home.howstuffworks.com. Acesso em: 19 out. 2008 (adaptado).***




Nos processos de transformação de energia envolvidos no funcionamento da geladeira,
a) a expansão do gás é um processo que cede a energia necessária ao resfriamento da parte interna da geladeira.

b) o calor flui de forma não espontânea da parte mais fria, no interior, para a mais quente, no exterior da geladeira.
c) a quantidade de calor cedida ao meio externo é igual ao calor retirado da geladeira.
d) a eficiência é tanto maior quanto menos isolado termicamente do ambiente externo for o seu compartimento interno.
e) a energia retirada do interior pode ser devolvida à geladeira abrindo-se a sua porta, o que reduz seu consumo de energia.

**Pergunta 9:** (Enem PPL 2012) Um aquecedor solar consiste essencialmente em uma serpentina de metal, a ser exposta ao sol, por meio da qual flui água a ser aquecida. A parte inferior da serpentina é soldada a uma chapa metálica, que é o coletor solar. A forma da serpentina tem a finalidade de aumentar a área de contato com o coletor e com a própria radiação solar sem aumentar muito o tamanho do aquecedor. O metal, sendo bom condutor, transmite e energia da radiação solar absorvida para as paredes internas e, daí, por condução, para a água. A superfície deve ser recoberta com um material, denominado material seletivo quente, para que absorva o máximo de radiação solar e emita o mínimo de radiação infravermelha. Os quadros relacionam propriedades de alguns metais/ligas metálicas utilizados na confecção de aquecedores solares:

| Material metálico | Condutividade térmica (W/m K) |
|---|---|
| Zinco | 116,0 |
| Aço | 52,9 |
| Cobre | 411,0 |

| Material seletivo quente | Razão entre a absorbância de radiação solar e a emitância de radiação infravermelha |
|---|---|
| A. Óxido e sulfeto de níquel e zinco aplicados sobre zinco | 8,45 |
| B. Óxido e sulfeto de níquel e zinco sobre ferro galvanizado | 7,42 |
| C. Óxido de cobre em alumínio anodizado | 7,72 |

ACIOLI, J. L. **Fontes de energia.** Brasília: UnB, 1994 (adaptado).

Os aquecedores solares mais eficientes e, portanto, mais atrativos do ponto de vista econômico, devem ser construídos utilizando como material metálico e material seletivo quente, respectivamente,
a) aço e material seletivo quente A.
b) aço e material seletivo quente B.
c) cobre e material seletivo quente C.
d) zinco e material seletivo quente B.
e) cobre e material seletivo quente A

GABARITO
1- C;
2- C;
3- B;
4- E;
5- C;
6- E;
7- B;
8- B;
9- E.

## APÊNDICE B – Pós-Teste

**Pergunta 1:** Na figura 1 o cozinheiro segura um recipiente que contém um alimento que acabou de sair do forno. Na figura 2, segura um recipiente contendo gelo. Marque a situação que você julga correta.

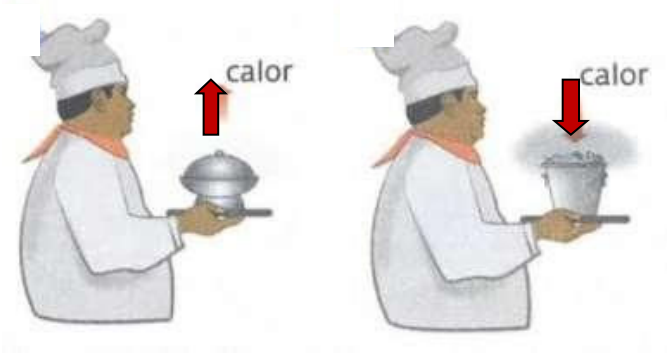



Fig.1 Fig.2

a) Na situação 1 está havendo trocas de calor com o ambiente, porém isso não acontece na situação 2.
b) Nas duas situações está havendo trocas de calor com o ambiente.
c) Na figura 1 há mais calor contido no recipiente 1 do que no recipiente 2.
d) Na figura 2 não existe calor no recipiente.
e) Não é possível responder.

**Pergunta 2:**

Disponível em: http://casadosnoopy.blogspot.com. Acesso em: 14 jun. 2011.

**Pergunta 2:** (Enem 2013) Quais são os processos de propagação de calor relacionados à fala de cada personagem?
a) Convecção e condução.
b) Convecção e irradiação.
c) Condução e convecção.
d) Irradiação e convecção.
e) Irradiação e condução.

**Pergunta 3:** (Enem 2012) Em dias com baixas temperaturas, as pessoas utilizam casacos ou blusas de lã com o intuito de minimizar a sensação de frio. Fisicamente, esta sensação ocorre pelo fato de o corpo humano liberar calor, que é a energia transferida de um corpo para outro em virtude da diferença de temperatura entre eles. A utilização de vestimenta de lã diminui a sensação de frio, porque:

a) possui a propriedade de gerar calor.
b) é constituída de material denso, o que não permite a entrada do ar frio.
c) diminui a taxa de transferência de calor do corpo humano para o meio externo.
d) tem como principal característica a absorção de calor, facilitando o equilíbrio térmico.
e) está em contato direto com o corpo humano, facilitando a transferência de calor por condução.

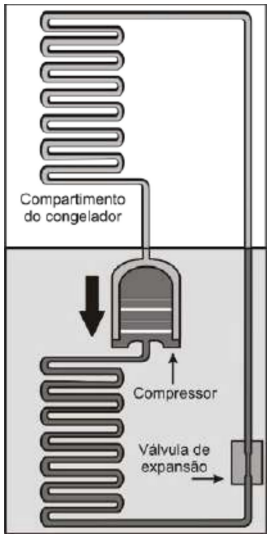
**Pergunta 4:** (Enem 2012) Chuveiros elétricos possuem uma chave para regulagem da temperatura verão/inverno e para desligar o chuveiro. Além disso, é possível regular a temperatura da água, abrindo ou fechando o registro. Abrindo, diminui-se a temperatura e fechando, aumenta-se. Aumentando-se o fluxo da água há uma redução na sua temperatura, pois:

a) aumenta-se a área da superfície da água dentro do chuveiro, aumentando a perda de calor por radiação.
b) aumenta-se o calor especifico da água, aumentando a dificuldade com que a massa de água se aquece no chuveiro.
c) diminui-se a capacidade térmica do conjunto água/chuveiro, diminuindo também a capacidade do conjunto de se aquecer.
d) diminui-se o contato entre a corrente elétrica do chuveiro e a água, diminuindo também a sua capacidade de aquecê-la.
e) diminui-se o tempo de contato entre a água e a resistência do chuveiro, diminuindo a transferência de calor de uma para a outra.

**Pergunta 5:** Após um dia de aula, você volta para casa e encosta a mão na maçaneta metálica da porta de sua casa e depois na madeira da porta. Você fica curioso ao perceber que, ao encostar sua mão na maçaneta, a sensação de "frio" é maior que quando você encosta a mão na madeira. Sobre o fenômeno físico ocorrido é correto afirma que:

a) A madeira está a uma temperatura maior que o metal.
b) Ambos estão a mesma temperatura, mas o metal é melhor condutor de calor.
c) Ambos estão a mesma temperatura, mas o metal tem mais frio.
d) O metal está a uma temperatura menor que a do ambiente.
e) A madeira está a uma temperatura maior que a do ambiente.

**Pergunta 6:** (Enem 2009) A invenção da geladeira proporcionou uma revolução no aproveitamento dos alimentos, ao permitir que fossem armazenados e transportados por longos períodos. A figura apresentada ilustra o processo cíclico de funcionamento de uma geladeira, em que um gás no interior de uma tubulação é forçado a circular entre o congelador e a parte externa da geladeira. É por meio dos processos de compressão, que ocorre na parte externa, e de expansão, que ocorre na parte interna, que o gás proporciona a troca de calor entre o interior e o exterior da geladeira.
***Disponível em: http://home.howstuffworks.com. Acesso em: 19 out. 2008 (adaptado).***




Nos processos de transformação de energia envolvidos no funcionamento da geladeira,
a) a expansão do gás é um processo que cede a energia necessária ao resfriamento da parte interna da geladeira.
b) o calor flui de forma não espontânea da parte mais fria, no interior, para a mais quente, no exterior da geladeira.
c) a quantidade de calor cedida ao meio externo é igual ao calor retirado da geladeira.
d) a eficiência é tanto maior quanto menos isolado termicamente do ambiente externo for o seu compartimento interno.
e) a energia retirada do interior pode ser devolvida à geladeira abrindo-se a sua porta, o que reduz seu consumo de energia.

**Pergunta 7:** (ENEM 2011) Um motor só poderá realizar trabalho se receber uma quantidade de energia de outro sistema. No caso, a energia armazenada no combustível é, em parte, liberada durante a combustão para que o aparelho possa funcionar. Quando o motor funciona, parte da energia convertida ou transformada na combustão não pode ser utilizada para a realização de trabalho. Isso significa dizer que há vazamento da energia em outra forma.
CARVALHO, A. X. Z. Física Térmica. Belo Horizonte: Pax, 2009 (adaptado).

De acordo com o texto, as transformações de energia que ocorrem durante o funcionamento do motor são decorrentes de a
a) liberação de calor dentro do motor ser impossível.
b) realização de trabalho pelo motor ser incontrolável.
c) conversão integral de calor em trabalho ser impossível.
d) transformação de energia térmica em cinética ser impossível.
e) utilização de energia potencial do combustível ser incontrolável.

**Pergunta 8:** (Enem 2012) Aumentar a eficiência na queima de combustível dos motores à combustão e reduzir suas emissões de poluentes são a meta de qualquer fabricante de motores. É também o foco de uma pesquisa brasileira que envolve experimentos com plasma, o quarto estado da matéria e que está presente no processo de ignição. A interação da faísca emitida pela vela de ignição com as moléculas de combustível gera o plasma que provoca a explosão liberadora de energia que, por sua vez, faz o motor funcionar.
Disponível em: www.inovacaotecnologica.com.br. Acesso em: 22 jul. 2010 (adaptado).

No entanto, a busca da eficiência referenciada no texto apresenta como fator limitante
a) o tipo de combustível, fóssil, que utilizam. Sendo um insumo não renovável, em algum momento estará esgotado.
b) um dos princípios da termodinâmica, segundo o qual o rendimento de uma máquina térmica nunca atinge o ideal.
c) o funcionamento cíclico de todo os motores. A repetição contínua dos movimentos exige que parte da energia seja transferida ao próximo ciclo.
d) as forças de atrito inevitável entre as peças. Tais forças provocam desgastes contínuos que com o tempo levam qualquer material à fadiga e ruptura.
e) a temperatura em que eles trabalham. Para atingir o plasma, é necessária uma temperatura maior que a de fusão do aço com que se fazem os motores.

**Pergunta 9:** (UECE-CEV-2016) O processo de expansão ou compressão de um gás em um curto intervalo de tempo pode representar um processo termodinâmico que se aproxima de um processo adiabático. Como exemplo, pode-se mencionar a expansão de gases de combustão em um cilindro de motor de automóvel em alta rotação. É correto afirmar que, em um processo adiabático no sistema,
a) a temperatura é constante e o trabalho realizado pelo sistema é nulo.
b) não há transferência de calor.
c) a pressão e o volume são constantes.
d) a energia interna é variável e a pressão é constante.
e) a variação da energia interna do sistema é igual a zero.

**Pergunta 10:** (UPE 2014) Com base nas Leis da Termodinâmica, analise as afirmativas a seguir:

I. Existem algumas máquinas térmicas que, operando em ciclos, retiram energia, na forma de calor, de uma fonte, transformando-a integralmente em trabalho.
II. Não existe transferência de calor de forma espontânea de um corpo de temperatura menor para outro de temperatura maior.
III. Refrigeradores são dispositivos, que transferem energia na forma de calor de um sistema de menor temperatura para outro de maior temperatura.
Está(ão) CORRETA(S)

a) apenas I. b) apenas II c) apenas I e III d) apenas II e III e) I, II e III.

GABARITO
1- B;
2- E;
3- C;
4- E;
5- B;
6- B;
7- C;
8- B;
9- B;
10- D.

# APÊNDICE C- Textos para levantamento dos organizadores prévios

## Texto 1

### Aplicação da primeira lei da Termodinâmica às transformações gasosas

Para aplicar a primeira lei da Termodinâmica, que envolve as grandezas calor, trabalho e energia interna, é preciso fazer um balanço energético, isto é, saber quando essas grandezas assumem valores positivos, negativos ou nulos.

- **Transformação isobárica**

A variação da energia interna $\Delta U$ de um sistema corresponde à diferença entre a quantidade de calor trocada **Q** e o trabalho $\tau$ realizado no processo.

$$\Delta U = Q - \tau$$

Na expansão, o sistema recebe calor ($Q > 0$) e fornece trabalho ($\tau > 0$); na compressão, o sistema recebe trabalho ($\tau < 0$) e fornece calor ($Q < 0$).

- **Transformação isotérmica**

A temperatura é mantida constante. Portanto, não há variação de energia interna ($\Delta U = 0$) e o trabalho realizado é equivalente ao calor trocado entre a massa gasosa e o meio externo.

$$\tau = Q$$

Na expansão, o sistema recebe calor ($Q > 0$) e fornece trabalho ($\tau > 0$); na compressão, o sistema recebe trabalho ($\tau < 0$) e fornece calor ($Q > 0$).

- **Transformação isovolumétrica**

O volume não varia, o êmbolo não se desloca, então não há realização de trabalho ($\tau = 0$).

$$\Delta U = Q$$

Todo o calor trocado, absorvido ou liberado é utilizado para alterar (aumentar ou diminuir) a energia interna do gás.

- **Transformação adiabática**

Nessa transformação, o sistema não troca calor com o meio exterior ($Q = 0$). A troca de energia entre o sistema e o ambiente é na forma de trabalho, que provoca mudanças na energia interna do sistema, ou seja:

$$\Delta U = -\tau$$

Na expansão, $\tau > 0$ e $\Delta U < 0$, ou seja, o trabalho realizado sobre o ambiente se dá à custa da energia interna do sistema. Na compressão, $\tau < 0$ e $\Delta U > 0$, isto é, o sistema recebe trabalho do ambiente que é totalmente transformado em energia interna para o sistema.

#### Transformação cíclica

Numa transformação cíclica, o calor total trocado (**Q**) e o trabalho total realizado ($\tau$) são equivalentes, pois a variação de energia interna é nula. Em um ciclo, o gás sofre diversas transformações até atingir novamente o estado inicial. As variáveis de estado final $p_F$, $V_F$ e $T_F$ apresentam valores iguais a $p_0$, $V_0$ e $T_0$, respectivamente. Toma-se como referência a temperatura absoluta do gás, $\Delta T = 0$. Como $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$, conclui-se que a energia interna do gás também é nula ($\Delta U = 0$) e, portanto, $Q = \tau$.



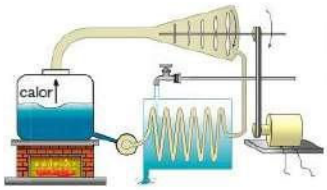
**Figura 13** – Imagem de texto para discussão e levantamento prévio
**Fonte:** BONJORNO & CLINTON, 2016

**Texto 2**

## 5. Segunda lei da Termodinâmica

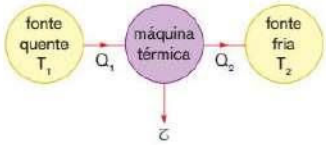
Aprendemos que o calor jamais flui de forma espontânea de um corpo de temperatura mais baixa para outro de temperatura mais alta e que não existem processos reversíveis sem perdas. Isso explica por que uma xícara de chá quente em contato com o meio ambiente só pode esfriar com o passar do tempo e por que nem toda a energia fornecida pelos combustíveis nos motores dos carros se transforma em energia cinética.

A segunda lei da Termodinâmica discute a **irreversibilidade** das transformações e das suas **limitações**. Para exemplificar, analisaremos uma máquina térmica de combustão externa, como a turbina a vapor.




Ilustrações: Editoria de Arte

Na caldeira, a água (substância de trabalho) sob alta pressão é aquecida até a ebulição a uma temperatura bem superior a 100 °C (maior pressão, maior temperatura de ebulição). O vapor formado expande-se e é conduzido até um conjunto de hélices (turbina) para o qual transfere parte da energia, produzindo a rotação do eixo da turbina, que transmite o movimento ao conjunto biela-pistão. Durante a expansão do vapor e o movimento das hélices, ocorre uma diminuição da pressão e da temperatura do vapor, e o processo tende a parar. Para que isso não ocorra, o vapor de água, após passar pela turbina para produzir trabalho, vai para um condensador, onde é transformado em água (liquefaz). O vapor condensado – água – é bombeado sob alta pressão e regressa à caldeira, provocando a repetição do processo, isto é, fazendo que o sistema opere ciclicamente.




As máquinas térmicas funcionam acopladas a duas fontes térmicas mantidas em temperaturas distintas. A chamada fonte quente, mantida à temperatura $\mathbf{T_1}$, é a responsável pelo fornecimento de calor $\mathbf{Q_1}$ à máquina, e a fonte fria, mantida à temperatura $\mathbf{T_2}$ ($\mathbf{T_2} < \mathbf{T_1}$), recebe o calor excedente $\mathbf{Q_2}$, ou seja, o calor não convertido em trabalho. Veja o esquema ao lado.

Essa quantidade de calor $\mathbf{Q_2}$ muitas vezes é denominada **calor eliminado** ou **calor rejeitado** pela máquina. Se aplicarmos a primeira lei da Termodinâmica ao ciclo efetuado por uma máquina térmica, teremos $\Delta U = 0$ (nos ciclos, os estados inicial e final coincidem) e então o trabalho realizado pela máquina $\tau_{ciclo}$ é igual à diferença entre a quantidade de calor $\mathbf{Q_1}$ fornecida à máquina e a quantidade de calor $\mathbf{Q_2}$ rejeitada pela máquina.

$$\tau_{ciclo} = Q_1 - |Q_2|$$

$\mathbf{Q_2}$ está sendo considerado em valor absoluto por se tratar de calor liberado.

Vamos considerar duas formulações para a segunda lei:

### Primeiro enunciado da segunda lei da Termodinâmica

> A transformação de calor em trabalho por um processo cíclico exige a presença de duas fontes térmicas mantidas a temperaturas diferentes entre si. O calor é fornecido pela fonte de temperatura mais alta e parte dele é transferido à fonte mantida em temperatura mais baixa. O trabalho realizado equivale à diferença entre as duas quantidades de calor.

### Segundo enunciado da segunda lei da Termodinâmica

> Nenhuma máquina térmica que opera em ciclos é capaz de transformar integralmente calor em trabalho.



**Figura 13** – Imagem de texto para discussão e levantamento prévio
**Fonte:** BONJORNO & CLINTON, 2016

## Rendimento de uma máquina térmica

O rendimento de uma máquina térmica $\eta$ é a razão entre o trabalho $\tau$ realizado pela máquina em cada ciclo e a quantidade de calor $\mathbf{Q_1}$ que ela consome ou recebe por ciclo.

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1}, \text{ com } 0 < \eta < 1$$

O rendimento pode ser escrito em função apenas das quantidades de calor consumida $\mathbf{Q_1}$ e rejeitada $|\mathbf{Q_2}|$.

Basta lembrar que:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} \Rightarrow \eta = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} \Rightarrow \boxed{\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}}$$

Se todo o calor $\mathbf{Q_1}$ fornecido à máquina fosse transformado em trabalho, a quantidade de calor rejeitada $|\mathbf{Q_2}|$ seria nula e o rendimento seria 100%, o que nunca ocorre. Observe as informações a seguir:

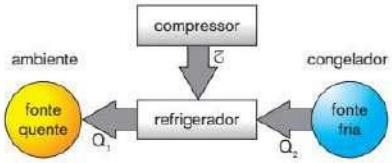
| Máquina | Rendimento aproximado |
|---|---|
| turbina a vapor simples (locomotiva) | 6% a 8% |
| navio a vapor | 12% |
| usina termelétrica a carvão ou óleo | 20% |
| motor a gasolina | 22% a 30% |
| motor a diesel | 30% a 40% |
| usina termelétrica a gás | 40% |

Logo, podemos concluir que não há como construir a máquina térmica perfeita. Em outras palavras, é impossível construir uma máquina que funcione eternamente, fornecendo a ela apenas uma quantidade de energia limitada. Toda máquina térmica deixa de usar uma parte do calor fornecido. É o que significa afirmar que não é possível construir um moto-perpétuo.

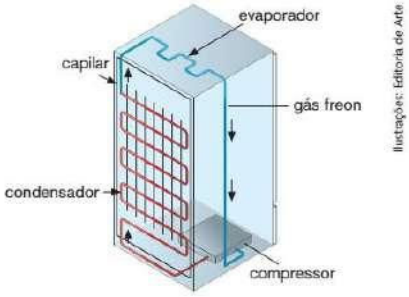
## Refrigerador

Os refrigeradores são classificados como máquinas térmicas que operam em sentido contrário ao dos motores térmicos.

A geladeira doméstica, por exemplo, funciona transferindo o calor $\mathbf{Q_2}$ do seu interior, isto é, do congelador (fonte fria) para o ambiente externo $\mathbf{Q_1}$ (fonte quente) e recebendo o trabalho $\tau = |Q_1| - Q_2$ do compressor.




O sentido de propagação do calor do mais frio para o mais quente ocorre em virtude do trabalho realizado pelo compressor sobre o gás, mantendo-o circulando na tubulação. A figura ao lado esquematiza o mecanismo.




O compressor acionado pelo motor elétrico comprime o gás na fase de vapor que, ao passar pela serpentina, se liquefaz, liberando calor $|\mathbf{Q_1}|$ para o ambiente externo (fonte quente). Na forma líquida, o gás percorre a tubulação no sentido horário e, ao atingir o estrangulamento no congelador, se vaporiza com o calor $\mathbf{Q_2}$ retirado do congelador (fonte fria). Pelo resto da tubulação o gás retorna na forma de vapor para o compressor, onde o ciclo recomeça.



**Figura 13** – Imagem de texto para discussão e levantamento prévio
**Fonte:** BONJORNO & CLINTON, 2016

## APÊNDICE D – Produto Educacional

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**ANDRÉ HENRIQUE TORRES MÜLLER**
**FLÁVIO GIMENES ALVARENGA**
**GUSTAVO VIALI LOYOLA**

# ESTUDO DAS PRIMEIRA E SEGUNDA LEIS DA TERMODINÂMICA COM O EMPREGO DE EXPERIMENTOS E UM MOTOR STIRLING

Vitória – ES
Agosto, 2019

# SUMÁRIO

**1 Apresentação.....04**

**2 Introdução ao estudo da termodinâmica.....06**

2.1 Aplicação da primeira lei da Termodinâmica às transformações gasosas .....07

2.1.1 Transformação isobárica.....07

2.1.2 Transformação isotérmica.....08

2.1.3 Transformação isovolumétrica.....08

2.1.4 Transformação adiabática.....08

2.2 Segunda lei da Termodinâmica.....08

**3 Aplicação da sequência didática.....10**

**Referências.....19**

**Apêndices**

Apêndice A – Pré-teste

Apêndice B – Pós-teste

Apêndice C – Textos para levantamento dos organizadores prévios

Apêndice D – Tutorial de montagem dos experimentos

## 1 Apresentação

Apresentamos o produto da dissertação de mestrado de André Henrique Torres Müller com a orientação do Professor Doutor Flávio Gimenes Alvarenga e coorientação do Professor Doutor Gustavo Viali Loyola, referente à conclusão do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, defendida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo - Polo 12 UFES do MNPEF.

Este material visa tornar o ensino de Física mais interessante ao aluno, por esse motivo, este trabalho, além de abordar a questão teórica e prática das primeira e segunda leis da termodinâmica, busca também contextualizar este conteúdo com a realidade vivida pelo aluno, fazendo com que o mesmo seja parte integrante do processo de aprendizagem.

Este trabalho propõe o uso de experimentos para que o aluno visualize os conceitos das primeira e segunda leis da termodinâmica em sua realidade social, partindo de comparações do experimento apresentado com o que ele utiliza no seu dia a dia, como transporte coletivo, geração de energia termoelétrica e outros.

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.

Será adotada uma pesquisa para averiguar a ocorrência de aprendizagem, utilizando uma abordagem quantitativa.

> *Nesse contexto o professor está presente como mediador, facilitador e catalisador do processo da aprendizagem. Sua presença se faz absolutamente indispensável como elemento organizador do contexto de aprendizagem, com vistas a facilitar o processo da construção das representações pelo aluno (MORETTO, 2002 - p. 37)*

Nas estratégias para a coletânea de dados, será aplicado um pré-teste para averiguar o conhecimento existente relacionado ao conteúdo da termodinâmica. Esse pré-teste será constituído de um questionário composto por perguntas cujo objetivo é o de sondar se o aluno já possui conhecimento prévio sobre o conteúdo abordado.

Após a aplicação da sequência didática envolvendo os conceitos das primeira e segunda leis da termodinâmica aplicadas ao conteúdo de máquinas térmicas, ocorrerá aplicação de um pós-teste, cujo instrumento será um questionário composto por perguntas com o objetivo de aferir a construção do conhecimento dos alunos após a aplicação da sequência didática, para que posteriormente, sejam comparados o pré-teste com o pós-teste.

Esse material possui como aporte teórico as premissas da aprendizagem significativa desenvolvidas por Ausubel.

David Ausubel, em 1963, apresentou sua Teoria da Assimilação, explicando a forma como se relacionam de modo seletivo, na fase da aprendizagem, as novas ideias potencialmente significativas com as ideias ancoradas existentes (aquelas que o aprendiz já possui) na estrutura cognitiva, introduzindo os conceitos de aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica. A aprendizagem significativa consiste de uma interação entre os aspectos específicos e relevantes já existentes na estrutura cognitiva e as novas informações, por meio da quais essas adquirem significados e são integradas à estrutura cognitiva. Nessa aprendizagem, os conceitos vão sendo reestruturados, tornando-se mais abrangentes e refinados sendo que o conhecimento prévio do sujeito é fundamental, para Ausubel, a aprendizagem significativa somente é possível quando um novo conhecimento se relaciona de forma substantiva e não arbitrária a outro já existente e este fato é determinante para a ocorrência dessa aprendizagem.

Já na aprendizagem mecânica, as novas informações são interiorizadas "ao pé da letra" como transmitido e não interagem com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, uma razão por que os alunos desenvolvem frequentemente um mecanismo de aprendizagem memorizada numa matéria de aprendizagem potencialmente significativa prende-se ao fato de aprenderem, a partir de lamentáveis experiências anteriores, que as respostas substancialmente corretas que não estejam em conformidade, de forma literal, com aquilo que o professor ou livro escolar afirmam não têm qualquer crédito por parte de alguns professores. Outro fator, que determina se o material de aprendizagem é ou não potencialmente significativo, depende mais da estrutura cognitiva particular do aluno do que da natureza do próprio material de aprendizagem. Ausubel estabelece os princípios da diferenciação progressiva, da reconciliação integradora e da consolidação do conhecimento como fundamentais para a ocorrência da aprendizagem significativa. Diferenciar progressivamente consiste em tomarmos como partida as ideias mais gerais e, progressivamente, diferenciá-las com detalhe e especificidade. A reconciliação integrativa, ou integradora, estabelece as relações entre os diferentes conteúdos apresentados, mostrando as interligações entre eles. Consolidar o conhecimento corresponde a buscarmos garantir a aprendizagem do conceito trabalhado antes da introdução de um novo conteúdo.

## 2 Introdução ao estudo da Termodinâmica

A temperatura é provavelmente o primeiro conceito termodinâmico. No final do século XVI, Galileu Galilei inventou um termômetro rudimentar, o termoscópio, ao qual se seguiram outros inventos com a mesma finalidade. O objetivo desses instrumentos era medir uma quantidade até então indefinida, mais objetiva na natureza do que as sensações fisiológicas de calor e frio. Na época, acreditava-se que a temperatura fosse uma potência motriz que provoca a transmissão de um certo eflúvio de um corpo quente para outro mais frio. Mas não se sabia explicar ainda o que era transmitido entre os corpos.

O químico Joseph Black fundou a ciência da calorimetria, que levou à enunciação da teoria segundo a qual o calor é um fluido invisível, chamado calórico. Um objeto se aquecia quando recebia calórico e se esfriava quando o perdia. A primeira evidência de que essa substância não existia foi dada, no final do século XVIII, pelo conde Rumford (Benjamin Thompson). Demonstrou-se, posteriormente, que o que se troca entre corpos de temperaturas diferentes é a energia cinética de seus átomos e moléculas, energia também conhecida como térmica.

Em 1824, Sadi Carnot, um engenheiro militar francês, tornou-se o primeiro pesquisador a preocupar-se com as características básicas das máquinas térmicas e a estudar o problema de seu rendimento. A contribuição de Carnot à solução do problema, embora teórica, foi de importância fundamental, pois demonstrou as características realmente significativas do funcionamento das máquinas térmicas, ou seja: (1) que a máquina recebe de uma fonte qualquer certa quantidade de calor a temperatura elevada; (2) que ela executa um trabalho externo; e (3) que rejeita calor a temperatura mais baixa do que a correspondente ao calor recebido.

Apesar de fundamentar suas teorias na noção de que o calor é um fluido imponderável, o calórico, Carnot encontrou a expressão correta do rendimento máximo que se pode obter com uma máquina térmica qualquer, operando entre duas fontes de temperaturas diferentes. Na década de 1840, James Prescott Joule assentou as bases da primeira lei da termodinâmica ao mostrar que a quantidade de trabalho necessária para promover uma determinada mudança de estado é independente do tipo de trabalho (mecânico, elétrico, magnético etc.) realizado, do ritmo e do método empregado.

Joule concluiu que o trabalho pode ser convertido em calor e vice-versa. Em 1844, Julius Robert von Mayer deduziu a lei de equivalência do calor e do trabalho, segundo a qual, num ciclo produtor de trabalho, o calor introduzido deve exceder o calor rejeitado em uma quantidade proporcional ao trabalho e calculou o valor da constante de proporcionalidade.

Em 1849, Lord Kelvin (William Thomson), engenheiro de Glasgow, mostrou o conflito existente entre a base calórica dos argumentos de Carnot e as conclusões obtidas por Joule. No ano seguinte, Rudolf Julius Emanuel Clausius solucionou o problema ao enunciar a primeira e a segunda leis da termodinâmica. Alguns anos depois, Clausius definiu a função da entropia, que se conserva em todas as transformações reversíveis, e deduziu da segunda lei da termodinâmica o princípio do aumento da entropia.

A publicação dos estudos de Clausius em 1850 marca o nascimento da ciência termodinâmica. De 1873 a 1878, Josiah Gibbs criou um método matemático que serviu como base para a fundação da termodinâmica química e para diversas aplicações da termodinâmica clássica. No início do século XX, Henri Poincaré elaborou as equações matemáticas das leis de Clausius, e Constantin Carathéodory apresentou uma estrutura lógica alternativa das teorias termodinâmicas que evitava o termo calor, considerado obsoleto. Em 1918, o Prêmio Nobel Walther Nernst, enunciou o princípio de Nernst, que coincide essencialmente com a terceira lei da termodinâmica. (Carlos José da Silva Costa - https://www.coladaweb.com/fisica/termologia/termodinamica. Acesso em 14 jan. 2019).

## 2.1 Aplicação da primeira lei da Termodinâmica às transformações gasosas

Já vimos que o calor é uma forma de energia em transferência, que ocorre sempre que existe uma diferença de temperatura entre as partes de um sistema. Devemos apenas lembrar que, por convenção, quando um sistema, um gás, por exemplo, recebe calor, dizemos que a quantidade de calor associada a esse gás é positiva ($Q > 0$). Já quando perde calor, dizemos que a quantidade de calor associada a esse gás é negativa ($Q < 0$).

A variação de energia interna de um sistema é igual a diferença entre o calor trocado e o trabalho realizado pelo sistema.

$\Delta U = Q - W$

Disso, podemos concluir que existem duas maneiras de variarmos a energia interna de um sistema: dando-lhe ou retirando-lhe calor ou fazendo com ele realize ou sofra trabalho.

### 2.1.1 Transformação isobárica

Nesta transformação, a quantidade de calor (Q) fornecida a um sistema é igual ao trabalho (W) realizado por ele somado à variação de sua energia interna ($\Delta U$). Assim, temos que:

$\Delta U = Q - W$

### 2.1.2 Transformação isotérmica

Nesta transformação, como a temperatura é constante, não ocorre variação de energia interna ($\Delta U = 0$). Assim, temos que:

$\Delta U = Q - W$

$\Delta U = 0 \Rightarrow 0 = Q - W \Rightarrow Q = W$

Ou seja, todo o calor trocado é transformado em trabalho. Se o gás recebe calor, realiza trabalho. Se um trabalho é realizado sobre ele, perde calor.

### 2.1.3 Transformação Isovolumétrica

Nesta transformação, como o volume é constante, o trabalho é nulo. Assim, temos que:

$\Delta U = Q - W$

$W = 0 \Rightarrow \Delta U = Q - 0 \Rightarrow \Delta U = Q$

Ou seja, todo o calor trocado é transformado em energia interna, ou seja, resulta em variação de temperatura.

### 2.1.4 Transformação Adiabática

Nesta transformação, não há trocas de calor. Normalmente, acontece quando há uma expansão ou contração muito rápida de um gás (por exemplo, ao usarmos um frasco de desodorante aerossol). Assim, temos que:

$\Delta U = Q - W$

$Q = 0 \Rightarrow \Delta U = 0 - W \Rightarrow \Delta U = -W$

Ou seja, todo o trabalho associado ao gás é transformado em energia interna. Mas note que o sinal de menos nos leva a uma conclusão:

- Se o gás é comprimido, o trabalho é negativo. Logo a variação de energia interna é positiva e o gás esquenta;
- Se o gás se expande, o trabalho é positivo. Logo a variação de energia interna é negativa e o gás esfria. Por isso sentimos o desodorante gelado após o uso.

## 2.2 Segunda lei da Termodinâmica

O calor jamais flui de forma espontânea de um corpo de temperatura mais baixa para outro de temperatura mais alta e que não existem processos reversíveis sem perdas. Isso explica por que uma xícara de chá quente em contato com o meio ambiente só pode esfriar com o passar do

tempo. A segunda lei da Termodinâmica discute a irreversibilidade das transformações e das suas limitações.

As máquinas térmicas funcionam acopladas a duas fontes térmicas mantidas em temperaturas distintas. A chamada fonte quente, mantida à temperatura $\mathbf{T_1}$, é a responsável pelo fornecimento de calor $\mathbf{Q_1}$, à máquina, e a fonte fria, mantida à temperatura $\mathbf{T_2}$ $\mathbf{(T_2 < T_1)}$, recebe o calor excedente $\mathbf{Q_2}$, ou seja, o calor não convertido em trabalho. Veja o esquema a seguir.

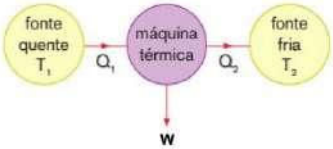



**Figura 1** – Imagem da representação esquemática de uma máquina térmica
**Fonte:** BONJORNO & CLINTON, 2016

Essa quantidade de calor $\mathbf{Q_2}$ muitas vezes é denominada calor rejeitado pela máquina. Se aplicarmos a primeira lei da Termodinâmica ao ciclo efetuado por uma máquina térmica, teremos $\mathbf{\Delta U = 0}$ (nos ciclos, os estados inicial e final coincidem) e então o trabalho realizado pela máquina $\mathbf{W_{ciclo}}$ é igual à diferença entre a quantidade de calor $\mathbf{Q_1}$, fornecida à máquina e a quantidade de calor $\mathbf{Q_2}$ rejeitada pela máquina.

$\mathbf{W_{ciclo} = Q1 - |Q2|}$

$\mathbf{Q_2}$, está sendo considerado em valor absoluto por se tratar de calor liberado.

A segunda lei vem estabelecer condições para que as transformações térmicas possam ocorrer, enfatizando o enunciado de Clausius, o qual afirma que:

> *"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)*

E é anunciada por Kelvin de outra maneira:

> *"Nenhum sistema pode absorver calor de um único reservatório e convertê-lo inteiramente em trabalho sem que resultem outras variações no sistema e no ambiente que o cerca." (TIPLER, 2009)*

Ou seja, teríamos que ter uma máquina térmica perfeita, na qual não ocorreriam dissipações de energia, e todo o calor extraído do reservatório seria convertido integralmente em trabalho. Quando este enunciado é demonstrado em sala de aula, temos as explicações do funcionamento de uma máquina térmica. Sendo assim, segundo a teoria, uma máquina térmica segue a segunda lei da termodinâmica, e, para converter calor em trabalho de modo contínuo, deve operar em ciclo entre duas fontes térmicas, uma quente e outra fria, retirando calor da fonte quente e convertendo parte desse calor em trabalho, o restante da energia é dissipado para uma fonte fria.

## 3 Aplicação da sequência didática

• **1ª aula** – aplica-se o pré-teste (APÊNCIDE A) composto de nove questões, envolvendo conceitos como: calor, temperatura, condutividade térmica e das nove questões, duas são voltadas para a primeira e segunda leis da termodinâmica;

• **2ª aula** – deve-se fornecer um texto (APÊNDICE C) sobre a primeira lei da termodinâmica, para ser lido em sala de aula, posteriormente realizando uma discussão sobre o assunto para verificar os conhecimentos prévios dos alunos. Informa-se aos alunos que o objetivo é relacionar o conhecimento trazido no texto com o que já vínhamos discutindo nos conteúdos anteriores, como: conceitos de temperatura, calor e condutividade térmica. Na sequência apresenta-se uma barra de alumínio de 30 cm, uma barra de aço de 30 cm (vergalhão fino – ferro/carbono), um pedaço de madeira de 30 cm (parajú), para demonstrar comparativos de condutividade térmica, tendo o objetivo de verificar se os alunos conseguem relacionar o evento ocorrido, com os conhecimentos prévios: calor, temperatura, condutividade térmica.

Então acende-se a lamparina (contendo 10ml de álcool 92,8º INPM), convida-se três alunos para participarem do experimento, coloca-se cada objeto na mão de cada aluno, porém segurando na extremidade do mesmo e em seguida, um a um, é posicionado o objeto sobre a chama e informado ao aluno que se pronuncie, quando ele sentir que o local onde ele segura o objeto, alcance temperatura maior que a do ambiente e o restante da turma fica observando. O objetivo é constatar que os tempos de percepção do aumento da temperatura são diferentes devido a condutividade térmica diferente de cada material, sendo a condutividade térmica do alumínio, maior que o do aço que é maior que o da madeira, neste último, não é necessário aguardar o aluno se manifestar, pois o tempo é bem maior que os demais, apagando preventivamente, pois o objetivo já deverá ter sido alcançado;

• **3ª aula** –aborda-se os conceitos da primeira lei da termodinâmica, tendo em vista as dúvidas apresentadas na discussão do texto da primeira lei da termodinâmica e dos conhecimentos prévios relacionados ao assunto que os alunos demonstraram durante a discussão. Apresenta-se o primeiro experimento (Figura 2), com o intuito de verificar a primeira lei da termodinâmica, através das transformações isovolumétrica em primeira análise e isotérmica em segunda análise do mesmo experimento. Demonstra-se que a seringa está graduada de meio em meio mililitro, com volume total de 3 ml e a seringa se encontra acoplada no tubo de vidro resistente a altas temperaturas, de forma a não permitir que o ar armazenado dentro do conjunto tubo mais seringa escape. Ao realizar o experimento, espera-se que os alunos por meio de observação, visualizem que o tubo de ensaio está recebendo calor em transferência da chama para o mesmo e que a temperatura interna do ar está aumentando, explorando assim os

conhecimentos prévios que os alunos já possuem sobre o assunto. Apesar de se estar transferindo calor para o ar armazenado no tubo mais seringa, o êmbolo da seringa não se move, não havendo variação de volume, fato esse constatado visualmente, visto que, o êmbolo da seringa não se movimenta, conclui-se então que o volume é constante, portanto a temperatura e a pressão aumentam proporcionalmente, explorando também os conhecimentos prévios que os alunos já possuem sobre o assunto. Sendo o volume constante, não há realização de trabalho, então a variação da energia interna do ar será igual a quantidade calor transferida pela chama a ele, demonstrando assim, a primeira lei aplicada a transformação isovolumétrica ($Q = \Delta U$). Findado a demonstração da transformação isovolumétrica, ainda no mesmo experimento, o professor executa um pequeno empurrão instantâneo na haste da seringa, os alunos devem observar que o êmbolo inicia um deslocamento contínuo com uma certa velocidade, enquanto se mantém a presença da chama próximo ao tubo, ao afastar a chama do tubo a velocidade diminui, demonstrando que ocorre um aumento de volume do ar interno devido a agitação das moléculas do ar, promovido pelo aquecimento do mesmo, comprovando uma expansão isotérmica, onde a temperatura é constante. O volume neste caso, aumenta e a pressão diminui, inversamente proporcionais, e o calor é proveniente do meio externo. Mostrou-se que todo o calor transferido pela chama é transformado em trabalho realizado para movimentar a seringa, por isso a velocidade percebida é considerável, se comparado a transformação isobárica, que será demonstrada mais adiante e comparado as velocidades. Sendo a temperatura constante, é demonstrado assim, a primeira lei aplicada à transformação isotérmica ($Q = W$). Aproveita-se o momento para discutir com os alunos, se caso fosse embebido um pano com água a baixa temperatura (água misturado com gelo) e colocássemos este pano no lugar da chama, envolto no tubo, o que aconteceria? Já preparando os alunos para a segunda lei da termodinâmica. Essa pergunta tentar explorar o princípio periódico do de uma máquina térmica. Pergunta-se também, porque o professor fica tanto tempo segurando o tubo de vidro com a mão e não queima os dedos? Os alunos devem observar que é devido a baixa condutividade do vidro, sendo abordado novamente a condutividade térmica.

**Figura 2** - Experimento tubo de vidro acoplado a uma seringa
**Fonte:** Autoria própria

• **4ª aula** – continuando a abordagem dos conceitos da primeira lei da termodinâmica, apresenta-se o segundo experimento, que é uma construção própria do autor , tubo de vidro resistente a altas temperaturas acoplado a uma bola de soprar na ponta (Figura 3), de forma a não permitir que o ar armazenado dentro do conjunto tubo mais bola de soprar escape - demonstração da transformação isobárica - o processo é o mesmo do experimento anterior, o tubo é aquecido através de uma chama, os alunos ficam observando e percebem que o balão de soprar começa a encher, porém bem lentamente. O aluno verifica de forma visual então, que o volume de ar dentro do tubo mais bola de soprar, aumenta. O professor então, deve mediar e mostrar que a transformação não é isovolumétrica e como o processo ocorre bem lentamente, e a bexiga por ser flexível e apresentar pouca resistência a expansão, ela se infla 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, não podendo ser nem isotérmica e nem isovolumétrica. Portanto, parte do calor transferido ao ar dentro do tubo é utilizado para fazer variar a sua energia interna, pois percebe-se pelo contato com balão, que o ar tem sua temperatura aumentada e como ocorre variação de volume, o restante do calor transferido é transformado em trabalho para inflar o balão ($Q = \Delta U + W$), percebendo assim, que a velocidade com que o balão enche é bem pequena se comparado a transformação isotérmica, onde todo o calor transferido é transformado em trabalho.

**Figura 3 -** Experimento tubo de vidro acoplado a uma bexiga
**Fonte:** Autoria própria

Ainda na quarta aula, utiliza-se o terceiro experimento (Figura 4), onde usa-se um lançador de foguetes, que é uma construção própria do autor, utilizando pedaços de cano e conexões de PVC, acoplado a uma garrafa pet fixa, com a finalidade de demonstrar os conceitos da primeira lei da termodinâmica na transformação adiabática. Primeiramente deve-se pulverizar álcool 46º INPM dentro da garrafa pet, em seguida conectar a garrafa ao lançador, depois utilizar a bomba para encher a garrafa com ar do meio externo para dentro da garrafa, neste processo a pressão aumenta, inclusive mostra-se ao aluno através do manômetro que indica a pressão aumentando. Solicita-se a um aluno que encoste a mão na garrafa pet durante o processo, para ele perceber que a temperatura da garrafa está aumentando. Quando alcançar em torno de 30 PSI (garrafa pet da Coca-Cola suporta até 150 PSI, segundo testes da fabricante) no manômetro, deve-se abrir o registro do lançador, liberando rapidamente a saída do ar mais álcool que se encontra dentro da garrafa pet, após realizar este processo, visualmente o aluno percebe que se forma uma nuvem dentro da garrafa (um condensado de vapor de água contido no ar mais vapor de álcool) devido a diminuição rápida da temperatura, por isso deve-se recomendar que o aluno segure a garrafa, para perceber através do tato esta mudança de temperatura. Neste momento o professor deve mediar e questionar que ao abrir a válvula: o que ocorre? Ocorre uma expansão, visto que o volume de ar que se encontra dentro da garrafa será liberado para o meio exterior, assim como ocorre num frasco de aerossol, então o volume varia. O aluno com a mão em contato com a garrafa percebe que a temperatura cai no momento em que a válvula é aberta, portanto, a temperatura também varia e por último, ao observar o manômetro da bomba o aluno verifica que a pressão cai a zero quase que instantaneamente quando a válvula é aberta. Demonstra-se que esta transformação é adiabática, onde pressão, volume e temperatura variaram ao mesmo tempo e que praticamente não ocorre troca de calor com o meio externo. Neste exemplo, quando você está enchendo a garrafa com ar, você realiza trabalho sobre o ar quando o mesmo é comprimido, praticamente sem troca de calor com o meio externo, devido

esse procedimento ser feito muito rapidamente, e verifica-se o aumento da temperatura da garrafa, demonstrando o aumento da variação da energia interna do ar, e portanto, trabalho sendo utilizado para fazer aumentar a variação da energia interna do ar ($\Delta U = -W$). Quando realizamos a abertura da válvula, como a expansão do ar ocorre rapidamente, o trabalho realizado pelo ar que provocou a expansão, diminui a sua energia interna ($-\Delta U = W$), percebida pelo aluno, que está com a mão em contato com a garrafa e verificando a diminuição da temperatura, observando visualmente a condensação do ar mais vapor de álcool. Exemplos clássicos, são os desodorantes aerossóis, os frascos ficam com temperaturas menores que a do ambiente ao serem utilizados e também para extintores de incêndio.

**Figura 4 -** Lançador de Foguetes com garrafa pet fixa
**Fonte:** Autoria própria

• **5ª aula** – deve-se fornecer um texto (APENDICE C) sobre a segunda lei da termodinâmica, realizando a leitura na sala de aula e posteriormente uma discussão para verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o assunto. Informa-se aos alunos que o objetivo é relacionar o conhecimento trazido no texto com o que já vínhamos discutindo. Nesta aula deve-se abordar os conceitos de máquinas térmicas (1º e 2º Enunciados) e suas implicações, relembrado rapidamente energia mecânica, e enfatizando a história das máquinas térmicas.

• **6ª aula** – apresenta-se o motor Stirling tipo Beta com cilindro transparente (Figura 5) e se demonstra cada parte que compõe o motor e para que serve, explicando que o motor possui 2 pistões, o primeiro chamado de pistão quente ou deslocador (Displacer), cuja a 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 a 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). Compara-se o pistão de trabalho do motor com o êmbolo da

seringa, a parede da seringa com o cilindro do motor. Deve-se ligar os eventos ocorridos no experimento tubo de vidro mais seringa com o motor Stirling para buscar aumentar a compreensão dos alunos. Demonstra-se no quadro branco o ciclo de Stirling e suas abordagens através do gráfico pressão versus volume (PxV) (Figura 12), explicando cada etapa envolvida no ciclo, primeiramente a compressão isotérmica, depois o aquecimento isovolumétrico, seguido da expansão isotérmica e fechando o ciclo com o resfriamento isovolumétrico. Retoma-se nesse momento ao tubo de vidro, quando se havia perguntado aos alunos o que ocorreria se envolvêssemos um pano embebido em água misturado com gelo, na ponta do tubo de vidro, demonstrando o processo cíclico e periódico, mas salientando que deve-se aguardar um resfriamento antes que a seringa retorne ao ponto de partida. Em seguida associa-se o primeiro e segundo enunciados da segunda lei, ao motor Stirling, explicitando o que seria a fonte quente e a fonte fria, tudo demonstrado diretamente no motor Stirling. Demonstra-se o trabalho realizado pelo motor, questionando se o mesmo teria como ser aproveitado e sobre energia cinética que os discos de plástico possuem ao estarem girando. Discute-se sobre a partida do motor, sobre o trabalho que é realizado para dar a partida no motor, fazendo a relação com o arranque do motor ou as manivelas que eram utilizadas antigamente. E por fim, já que o motor Stirling segue o primeiro e segundo enunciados da segunda lei da termodinâmica, conclui-se que ele é uma máquina térmica.

**Figura 5 -** Motor ciclo Stirlig modelo Beta
**Fonte:** Autoria própria

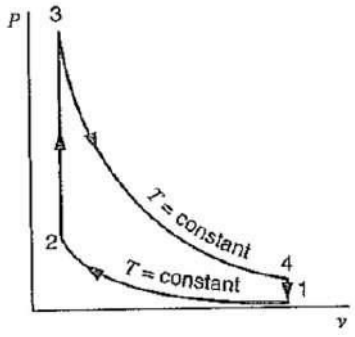



**Figura 6** – Gráfico PxV do ciclo de Stirling
**Fonte:** Hirata, 1995

• **7ª aula** – continuando a abordagem da máquina térmica, ainda com o uso do motor Stirling, nesta aula, apresenta-se um outro ciclo para os alunos, o ciclo Otto, diferenciando 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). Apresenta-se um vídeo demonstrativo/explicativo de motores de combustão interna tipo Otto, mais uma forma de contextualizar o uso dos motores termodinâmicos no cotidiano do aluno, que seria a máquina térmica utilizada num automóvel, num coletivo. É importante abordar também outros empregos da máquina térmica, por exemplo, uma máquina térmica que impacta a conta de luz elétrica das famílias dos alunos, no caso, as termoelétricas, representando a geração de energia elétrica com o uso de um motor termodinâmico. Para fazer essa associação às termoelétricas, nesta aula é utilizado um motor Stirling tipo Gama acoplado a um gerador de energia e uma lâmpada incandescente e uma lâmpada LED (Figura 6), a fim de demonstrar as três modalidades de energia envolvidas, a térmica, mecânica e elétrica. Este motor em questão, tem sua velocidade de rotação em torno de 1100 rpm, muito maior que o motor com cilindro transparente, que em média alcança aproximadamente 200 rpm. Depois da primeira demonstração, é importante deixar claro que o princípio de funcionamento do motor Stirling tipo gama é o mesmo que o motor Stirling tipo beta e que ambos são máquinas térmicas, e seguem o mesmo ciclo, o de Stirling. A única diferença física, é que o pistão de trabalho foi transladado para a lateral do motor, ao invés de ficar em linha, conforme ocorre no motor beta. Depois desta abordagem feita, discute-se superficialmente com os alunos como é possível acender a lâmpada LED e a lâmpada incandescente. Lembrando que o foco não é discutir sobre geração de energia, até porque, a matéria de eletricidade é vista pelos alunos, somente na terceira série do ensino médio. Então aborda-se o princípio da conservação de energia pra fazer a ligação de que energia é essa que faz as lâmpadas acenderem.

Agora será feito uma descrição dos relatos que os alunos fizeram quando foi apresentado este motor. Os alunos relataram que no motor tipo beta, a energia térmica é que se transformava em energia mecânica e neste momento da aula eles repetiram isso para justificar o funcionamento do motor tipo gama, mas não foi o suficiente para compreenderem o acendimento das lâmpadas. Os alunos rapidamente começaram a recordar da 5ª aula, onde retratamos sobre energia mecânica e fizeram o gancho, que deveria ter algo a ver com a energia mecânica, mas não conseguiram externar que a energia mecânica é que estava sendo transformada em energia elétrica. Então liguei novamente o motor e pedi silêncio total na sala, para que eles prestassem atenção no momento em que eu apertasse o interruptor que acendia as lâmpadas, primeiro eu apertei o interruptor da lâmpada LED e mantive pressionado por uns trinta segundos e soltei, depois apertei o interruptor da lâmpada incandescente e mantive pressionado por uns trinta segundos e soltei e por último apertei os interruptores das duas lâmpadas ao mesmo tempo e mantive pressionado por uns trinta segundos e soltei e foi perguntado: O que perceberam? Todos responderam, que diminuía de forma diferente a velocidade de giro do motor de acordo com o tipo de lâmpada que era acionada, percebido de forma visual e auditiva, pois o ruído também diminuía de acordo com o tipo de lâmpada acionada. Diminuía em maior velocidade na lâmpada incandescente do que na lâmpada LED e a diminuição era ainda maior quando se acionava as duas lâmpadas ao mesmo tempo. A partir dessa demonstração, eles perceberam que parte da energia mecânica que está ligada ao movimento do volante do motor (5 CDs colados) tinha relação com a geração de energia elétrica, portanto, a diferença de velocidade era a diminuição da energia mecânica que, provavelmente foi transformada em energia elétrica para ascender a lâmpada e como os alunos já tinham relatado no outro motor, que era a energia térmica que se transformava em energia mecânica, demonstrou-se assim, a conservação de energia, primeira lei da termodinâmica, entre as três modalidades de energia. Lembrando que foi explicado superficialmente como funcionava um gerador de energia sem entrar em maiores detalhes, para não fugir do foco da aula. Foi salientado o uso das termoelétricas por parte dos órgãos concessionários de energia, que no momento de escassez hídrica, se utilizam deste equipamento que é uma máquina térmica, para complementar a geração de energia elétrica.

**Figura 7 -** Motor ciclo Stirlig modelo gama
**Fonte:** Autoria própria

• **8ª aula** – aplica-se o pós-teste (APÊNCIDE B) composto de dez questões, envolvendo conceitos como: calor, temperatura, condutividade térmica e das dez questões, cinco são voltadas para a primeira e segunda leis da termodinâmica;

## REFERÊNCIAS

BARROS, Robledo Wakin. **Avaliação Teórica e Experimental do Motor Stirling Modelo solo 161 Operando com Diferentes Combustíveis**. Itajubá: UNIFEI, 2005. Disponível em: https://saturno.unifei.edu.br/bim/0030363.pdf . Acesso em 14 jan. 2019.

BONJORNO & CLINTON, **Física Fundamental – Volume 2**, 3ª Edição - Editora FTD, São Paulo, 2016.

Costa, Carlos José da Silva, **Cola da web**; Disponível em https://www.coladaweb.com/fisica/termologia/termodinamica. Acesso em 14 jan. 2019.

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

MORETTO, Vasco Pedro. **Prova – um momento privilegiado de estudo – não um acerto de contas.** 3ª ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2003.

TIPLER, P. A. **Física para engenheiros e cientistas** Vol. 1, (LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2009), 6ª ed.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Pré-Teste

**Pergunta 1:** Considere dois corpos de mesma massa e constituídos pela mesma substância, inicialmente com temperaturas diferentes, conforme figura a seguir:

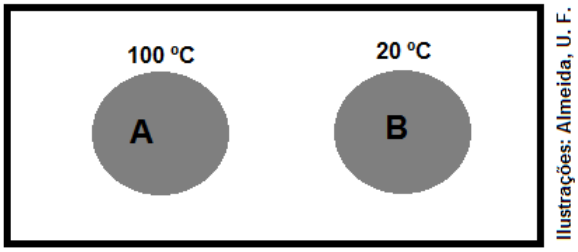



**Figura 20.** Esquema de dois corpos confinados em um recipiente isolado de influências externas.

Após determinado intervalo de tempo, o que podemos afirmar?

a) A temperatura do corpo A passou para o corpo B e o sistema atinge o equilíbrio térmico.
b) O calor do corpo A passou para o corpo B e o sistema atinge o equilíbrio térmico.
c) O fluxo de energia térmica resultante tem sentido espontâneo do corpo A para o corpo B.
d) O fluxo de energia térmica resultante tem sentido espontâneo do corpo B para o corpo A.
e) O calor do corpo A diminui e o do corpo B aumenta.

**Pergunta 2:** (Enem PPL 2013) É comum nos referirmos a dias quentes como dias "de calor". Muitas vezes ouvimos expressões como "hoje está calor" ou "hoje o calor está muito forte" quando a temperatura ambiente está alta. No contexto científico, é correto o significado de "calor" usado nessas expressões?

a) Sim, pois o calor de um corpo depende de sua temperatura.
b) Sim, pois calor é sinônimo de alta temperatura.
c) Não, pois calor é energia térmica em trânsito.
d) Não, pois calor é a quantidade de energia térmica contida em um corpo.
e) Não, pois o calor é diretamente proporcional à temperatura, mas são conceitos diferentes.

**Pergunta 3:** Na figura 1 o cozinheiro segura um recipiente que contém um alimento que acabou de sair do forno. Na figura 2, segura um recipiente contendo gelo. Marque a situação que você julga correta.

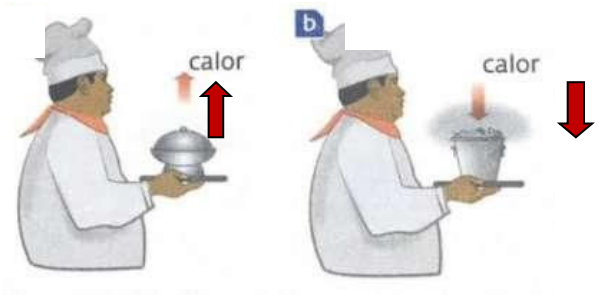



Fig.1 Fig.2

a) Na situação 1 está havendo trocas de calor com o ambiente, porém isso não acontece na situação 2.
b) Nas duas situações está havendo trocas de calor com o ambiente.
c) Na figura 1 há mais calor contido no recipiente 1 do que no recipiente 2.
d) Na figura 2 não existe calor no recipiente.
e) Não é possível responder.

**Pergunta 4:**

Disponível em: http://casadosnoopy.blogspot.com. Acesso em: 14 jun. 2011.

**Pergunta 4:** (Enem 2013) Quais são os processos de propagação de calor relacionados à fala de cada personagem?
a) Convecção e condução.
b) Convecção e irradiação.
c) Condução e convecção.
d) Irradiação e convecção.
e) Irradiação e condução.

**Pergunta 5:** (Enem 2012) Em dias com baixas temperaturas, as pessoas utilizam casacos ou blusas de lã com o intuito de minimizar a sensação de frio. Fisicamente, esta sensação ocorre pelo fato de o corpo humano liberar calor, que é a energia transferida de um corpo para outro em virtude da diferença de temperatura entre eles. A utilização de vestimenta de lã diminui a sensação de frio, porque:

a) possui a propriedade de gerar calor.
b) é constituída de material denso, o que não permite a entrada do ar frio.
c) diminui a taxa de transferência de calor do corpo humano para o meio externo.
d) tem como principal característica a absorção de calor, facilitando o equilíbrio térmico.
e) está em contato direto com o corpo humano, facilitando a transferência de calor por condução.

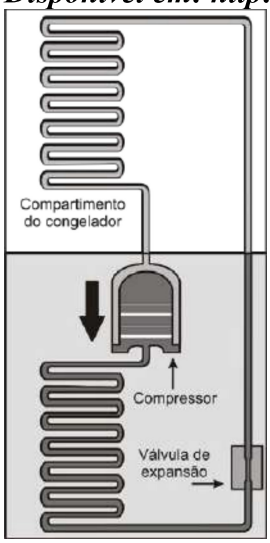
**Pergunta 6:** (Enem 2012) Chuveiros elétricos possuem uma chave para regulagem da temperatura verão/inverno e para desligar o chuveiro. Além disso, é possível regular a temperatura da água, abrindo ou fechando o registro. Abrindo, diminui-se a temperatura e fechando, aumenta-se. Aumentando-se o fluxo da água há uma redução na sua temperatura, pois:

a) aumenta-se a área da superfície da água dentro do chuveiro, aumentando a perda de calor por radiação.
b) aumenta-se o calor especifico da água, aumentando a dificuldade com que a massa de água se aquece no chuveiro.
c) diminui-se a capacidade térmica do conjunto água/chuveiro, diminuindo também a capacidade do conjunto de se aquecer.
d) diminui-se o contato entre a corrente elétrica do chuveiro e a água, diminuindo também a sua capacidade de aquecê-la.
e) diminui-se o tempo de contato entre a água e a resistência do chuveiro, diminuindo a transferência de calor de uma para a outra.

**Pergunta 7:** Após um dia de aula, você volta para casa e encosta a mão na maçaneta metálica da porta de sua casa e depois na madeira da porta. Você fica curioso ao perceber que, ao encostar sua mão na maçaneta, a sensação de "frio" é maior que quando você encosta a mão na madeira. Sobre o fenômeno físico ocorrido é correto afirma que:

a) A madeira está a uma temperatura maior que o metal.
b) Ambos estão a mesma temperatura, mas o metal é melhor condutor de calor.
c) Ambos estão a mesma temperatura, mas o metal tem mais frio.
d) O metal está a uma temperatura menor que a do ambiente.
e) A madeira está a uma temperatura maior que a do ambiente.

**Pergunta 8:** (Enem 2009) A invenção da geladeira proporcionou uma revolução no aproveitamento dos alimentos, ao permitir que fossem armazenados e transportados por longos períodos. A figura apresentada ilustra o processo cíclico de funcionamento de uma geladeira, em que um gás no interior de uma tubulação é forçado a circular entre o congelador e a parte externa da geladeira. É por meio dos processos de compressão, que ocorre na parte externa, e de expansão, que ocorre na parte interna, que o gás proporciona a troca de calor entre o interior e o exterior da geladeira.
***Disponível em: http://home.howstuffworks.com. Acesso em: 19 out. 2008 (adaptado).***




Nos processos de transformação de energia envolvidos no funcionamento da geladeira,
a) a expansão do gás é um processo que cede a energia necessária ao resfriamento da parte interna da geladeira.

b) o calor flui de forma não espontânea da parte mais fria, no interior, para a mais quente, no exterior da geladeira.
c) a quantidade de calor cedida ao meio externo é igual ao calor retirado da geladeira.
d) a eficiência é tanto maior quanto menos isolado termicamente do ambiente externo for o seu compartimento interno.
e) a energia retirada do interior pode ser devolvida à geladeira abrindo-se a sua porta, o que reduz seu consumo de energia.

**Pergunta 9:** (Enem PPL 2012) Um aquecedor solar consiste essencialmente em uma serpentina de metal, a ser exposta ao sol, por meio da qual flui água a ser aquecida. A parte inferior da serpentina é soldada a uma chapa metálica, que é o coletor solar. A forma da serpentina tem a finalidade de aumentar a área de contato com o coletor e com a própria radiação solar sem aumentar muito o tamanho do aquecedor. O metal, sendo bom condutor, transmite e energia da radiação solar absorvida para as paredes internas e, daí, por condução, para a água. A superfície deve ser recoberta com um material, denominado material seletivo quente, para que absorva o máximo de radiação solar e emita o mínimo de radiação infravermelha. Os quadros relacionam propriedades de alguns metais/ligas metálicas utilizados na confecção de aquecedores solares:

| Material metálico | Condutividade térmica (W/m K) |
|---|---|
| Zinco | 116,0 |
| Aço | 52,9 |
| Cobre | 411,0 |

| Material seletivo quente | Razão entre a absorbância de radiação solar e a emitância de radiação infravermelha |
|---|---|
| A. Óxido e sulfeto de níquel e zinco aplicados sobre zinco | 8,45 |
| B. Óxido e sulfeto de níquel e zinco sobre ferro galvanizado | 7,42 |
| C. Óxido de cobre em alumínio anodizado | 7,72 |

ACIOLI, J. L. **Fontes de energia.** Brasília: UnB, 1994 (adaptado).

Os aquecedores solares mais eficientes e, portanto, mais atrativos do ponto de vista econômico, devem ser construídos utilizando como material metálico e material seletivo quente, respectivamente,
a) aço e material seletivo quente A.
b) aço e material seletivo quente B.
c) cobre e material seletivo quente C.
d) zinco e material seletivo quente B.
e) cobre e material seletivo quente A

GABARITO
1- C;
2- C;
3- B;
4- E;
5- C;
6- E;
7- B;
8- B;
9- E.

**APÊNDICE B – Pós-Teste**

**Pergunta 1:** Na figura 1 o cozinheiro segura um recipiente que contém um alimento que acabou de sair do forno. Na figura 2, segura um recipiente contendo gelo. Marque a situação que você julga correta.

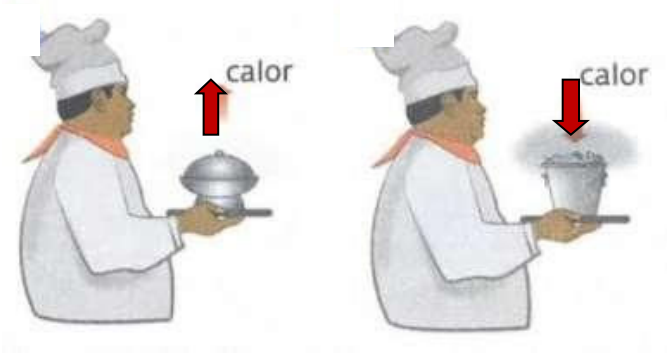



Fig.1 Fig.2

a) Na situação 1 está havendo trocas de calor com o ambiente, porém isso não acontece na situação 2.
b) Nas duas situações está havendo trocas de calor com o ambiente.
c) Na figura 1 há mais calor contido no recipiente 1 do que no recipiente 2.
d) Na figura 2 não existe calor no recipiente.
e) Não é possível responder.

**Pergunta 2:**

Disponível em: http://casadosnoopy.blogspot.com. Acesso em: 14 jun. 2011.

**Pergunta 2:** (Enem 2013) Quais são os processos de propagação de calor relacionados à fala de cada personagem?
a) Convecção e condução.
b) Convecção e irradiação.
c) Condução e convecção.
d) Irradiação e convecção.
e) Irradiação e condução.

**Pergunta 3:** (Enem 2012) Em dias com baixas temperaturas, as pessoas utilizam casacos ou blusas de lã com o intuito de minimizar a sensação de frio. Fisicamente, esta sensação ocorre pelo fato de o corpo humano liberar calor, que é a energia transferida de um corpo para outro em virtude da diferença de temperatura entre eles. A utilização de vestimenta de lã diminui a sensação de frio, porque:

a) possui a propriedade de gerar calor.
b) é constituída de material denso, o que não permite a entrada do ar frio.
c) diminui a taxa de transferência de calor do corpo humano para o meio externo.
d) tem como principal característica a absorção de calor, facilitando o equilíbrio térmico.
e) está em contato direto com o corpo humano, facilitando a transferência de calor por condução.

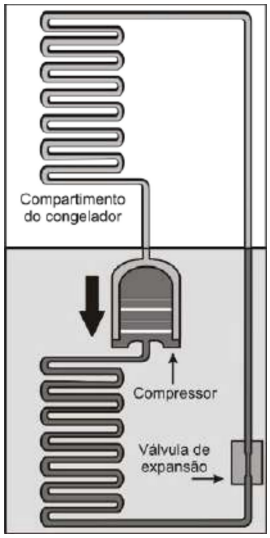
**Pergunta 4:** (Enem 2012) Chuveiros elétricos possuem uma chave para regulagem da temperatura verão/inverno e para desligar o chuveiro. Além disso, é possível regular a temperatura da água, abrindo ou fechando o registro. Abrindo, diminui-se a temperatura e fechando, aumenta-se. Aumentando-se o fluxo da água há uma redução na sua temperatura, pois:

a) aumenta-se a área da superfície da água dentro do chuveiro, aumentando a perda de calor por radiação.
b) aumenta-se o calor especifico da água, aumentando a dificuldade com que a massa de água se aquece no chuveiro.
c) diminui-se a capacidade térmica do conjunto água/chuveiro, diminuindo também a capacidade do conjunto de se aquecer.
d) diminui-se o contato entre a corrente elétrica do chuveiro e a água, diminuindo também a sua capacidade de aquecê-la.
e) diminui-se o tempo de contato entre a água e a resistência do chuveiro, diminuindo a transferência de calor de uma para a outra.

**Pergunta 5:** Após um dia de aula, você volta para casa e encosta a mão na maçaneta metálica da porta de sua casa e depois na madeira da porta. Você fica curioso ao perceber que, ao encostar sua mão na maçaneta, a sensação de "frio" é maior que quando você encosta a mão na madeira. Sobre o fenômeno físico ocorrido é correto afirma que:

a) A madeira está a uma temperatura maior que o metal.
b) Ambos estão a mesma temperatura, mas o metal é melhor condutor de calor.
c) Ambos estão a mesma temperatura, mas o metal tem mais frio.
d) O metal está a uma temperatura menor que a do ambiente.
e) A madeira está a uma temperatura maior que a do ambiente.

**Pergunta 6:** (Enem 2009) A invenção da geladeira proporcionou uma revolução no aproveitamento dos alimentos, ao permitir que fossem armazenados e transportados por longos períodos. A figura apresentada ilustra o processo cíclico de funcionamento de uma geladeira, em que um gás no interior de uma tubulação é forçado a circular entre o congelador e a parte externa da geladeira. É por meio dos processos de compressão, que ocorre na parte externa, e de expansão, que ocorre na parte interna, que o gás proporciona a troca de calor entre o interior e o exterior da geladeira.
***Disponível em: http://home.howstuffworks.com. Acesso em: 19 out. 2008 (adaptado).***




Nos processos de transformação de energia envolvidos no funcionamento da geladeira,
a) a expansão do gás é um processo que cede a energia necessária ao resfriamento da parte interna da geladeira.
b) o calor flui de forma não espontânea da parte mais fria, no interior, para a mais quente, no exterior da geladeira.
c) a quantidade de calor cedida ao meio externo é igual ao calor retirado da geladeira.
d) a eficiência é tanto maior quanto menos isolado termicamente do ambiente externo for o seu compartimento interno.
e) a energia retirada do interior pode ser devolvida à geladeira abrindo-se a sua porta, o que reduz seu consumo de energia.

**Pergunta 7:** (ENEM 2011) Um motor só poderá realizar trabalho se receber uma quantidade de energia de outro sistema. No caso, a energia armazenada no combustível é, em parte, liberada durante a combustão para que o aparelho possa funcionar. Quando o motor funciona, parte da energia convertida ou transformada na combustão não pode ser utilizada para a realização de trabalho. Isso significa dizer que há vazamento da energia em outra forma.
CARVALHO, A. X. Z. Física Térmica. Belo Horizonte: Pax, 2009 (adaptado).

De acordo com o texto, as transformações de energia que ocorrem durante o funcionamento do motor são decorrentes de a
a) liberação de calor dentro do motor ser impossível.
b) realização de trabalho pelo motor ser incontrolável.
c) conversão integral de calor em trabalho ser impossível.
d) transformação de energia térmica em cinética ser impossível.
e) utilização de energia potencial do combustível ser incontrolável.

**Pergunta 8:** (Enem 2012) Aumentar a eficiência na queima de combustível dos motores à combustão e reduzir suas emissões de poluentes são a meta de qualquer fabricante de motores. É também o foco de uma pesquisa brasileira que envolve experimentos com plasma, o quarto estado da matéria e que está presente no processo de ignição. A interação da faísca emitida pela vela de ignição com as moléculas de combustível gera o plasma que provoca a explosão liberadora de energia que, por sua vez, faz o motor funcionar.
Disponível em: www.inovacaotecnologica.com.br. Acesso em: 22 jul. 2010 (adaptado).

No entanto, a busca da eficiência referenciada no texto apresenta como fator limitante
a) o tipo de combustível, fóssil, que utilizam. Sendo um insumo não renovável, em algum momento estará esgotado.
b) um dos princípios da termodinâmica, segundo o qual o rendimento de uma máquina térmica nunca atinge o ideal.
c) o funcionamento cíclico de todo os motores. A repetição contínua dos movimentos exige que parte da energia seja transferida ao próximo ciclo.
d) as forças de atrito inevitável entre as peças. Tais forças provocam desgastes contínuos que com o tempo levam qualquer material à fadiga e ruptura.
e) a temperatura em que eles trabalham. Para atingir o plasma, é necessária uma temperatura maior que a de fusão do aço com que se fazem os motores.

**Pergunta 9:** (UECE-CEV-2016) O processo de expansão ou compressão de um gás em um curto intervalo de tempo pode representar um processo termodinâmico que se aproxima de um processo adiabático. Como exemplo, pode-se mencionar a expansão de gases de combustão em um cilindro de motor de automóvel em alta rotação. É correto afirmar que, em um processo adiabático no sistema,
a) a temperatura é constante e o trabalho realizado pelo sistema é nulo.
b) não há transferência de calor.
c) a pressão e o volume são constantes.
d) a energia interna é variável e a pressão é constante.
e) a variação da energia interna do sistema é igual a zero.

**Pergunta 10:** (UPE 2014) Com base nas Leis da Termodinâmica, analise as afirmativas a seguir:

I. Existem algumas máquinas térmicas que, operando em ciclos, retiram energia, na forma de calor, de uma fonte, transformando-a integralmente em trabalho.
II. Não existe transferência de calor de forma espontânea de um corpo de temperatura menor para outro de temperatura maior.
III. Refrigeradores são dispositivos, que transferem energia na forma de calor de um sistema de menor temperatura para outro de maior temperatura.
Está(ão) CORRETA(S)

a) apenas I. b) apenas II c) apenas I e III d) apenas II e III e) I, II e III.

GABARITO
1- B;
2- E;
3- C;
4- E;
5- B;
6- B;
7- C;
8- B;
9- B;
10- D.

## APÊNDICE C- Textos para levantamento dos organizadores prévios

### Texto 1

### Aplicação da primeira lei da Termodinâmica às transformações gasosas

Para aplicar a primeira lei da Termodinâmica, que envolve as grandezas calor, trabalho e energia interna, é preciso fazer um balanço energético, isto é, saber quando essas grandezas assumem valores positivos, negativos ou nulos.

- **Transformação isobárica**

A variação da energia interna $\Delta U$ de um sistema corresponde à diferença entre a quantidade de calor trocada **Q** e o trabalho $\tau$ realizado no processo.

$$\boxed{\Delta U = Q - \tau}$$

Na expansão, o sistema recebe calor ($Q > 0$) e fornece trabalho ($\tau > 0$); na compressão, o sistema recebe trabalho ($\tau < 0$) e fornece calor ($Q < 0$).

- **Transformação isotérmica**

A temperatura é mantida constante. Portanto, não há variação de energia interna ($\Delta U = 0$) e o trabalho realizado é equivalente ao calor trocado entre a massa gasosa e o meio externo.

$$\boxed{\tau = Q}$$

Na expansão, o sistema recebe calor ($Q > 0$) e fornece trabalho ($\tau > 0$); na compressão, o sistema recebe trabalho ($\tau < 0$) e fornece calor ($Q > 0$).

- **Transformação isovolumétrica**

O volume não varia, o êmbolo não se desloca, então não há realização de trabalho ($\tau = 0$).

$$\boxed{\Delta U = Q}$$

Todo o calor trocado, absorvido ou liberado é utilizado para alterar (aumentar ou diminuir) a energia interna do gás.

- **Transformação adiabática**

Nessa transformação, o sistema não troca calor com o meio exterior ($Q = 0$). A troca de energia entre o sistema e o ambiente é na forma de trabalho, que provoca mudanças na energia interna do sistema, ou seja:

$$\boxed{\Delta U = -\tau}$$

Na expansão, $\tau > 0$ e $\Delta U < 0$, ou seja, o trabalho realizado sobre o ambiente se dá à custa da energia interna do sistema. Na compressão, $\tau < 0$ e $\Delta U > 0$, isto é, o sistema recebe trabalho do ambiente que é totalmente transformado em energia interna para o sistema.

#### Transformação cíclica

Numa transformação cíclica, o calor total trocado (**Q**) e o trabalho total realizado ($\tau$) são equivalentes, pois a variação de energia interna é nula. Em um ciclo, o gás sofre diversas transformações até atingir novamente o estado inicial. As variáveis de estado final $p_F$, $V_F$ e $T_F$ apresentam valores iguais a $p_0$, $V_0$ e $T_0$, respectivamente. Toma-se como referência a temperatura absoluta do gás, $\Delta T = 0$. Como $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$, conclui-se que a energia interna do gás também é nula ($\Delta U = 0$) e, portanto, $Q = \tau$.



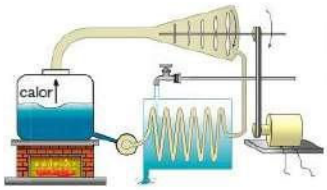
**Figura 13** – Imagem de texto para discussão e levantamento prévio
**Fonte:** BONJORNO & CLINTON, 2016

**Texto 2**

## 5. Segunda lei da Termodinâmica

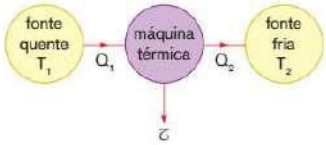
Aprendemos que o calor jamais flui de forma espontânea de um corpo de temperatura mais baixa para outro de temperatura mais alta e que não existem processos reversíveis sem perdas. Isso explica por que uma xícara de chá quente em contato com o meio ambiente só pode esfriar com o passar do tempo e por que nem toda a energia fornecida pelos combustíveis nos motores dos carros se transforma em energia cinética.

A segunda lei da Termodinâmica discute a **irreversibilidade** das transformações e das suas **limitações**. Para exemplificar, analisaremos uma máquina térmica de combustão externa, como a turbina a vapor.




Ilustrações: Editoria de Arte

Na caldeira, a água (substância de trabalho) sob alta pressão é aquecida até a ebulição a uma temperatura bem superior a 100 °C (maior pressão, maior temperatura de ebulição). O vapor formado expande-se e é conduzido até um conjunto de hélices (turbina) para o qual transfere parte da energia, produzindo a rotação do eixo da turbina, que transmite o movimento ao conjunto biela-pistão. Durante a expansão do vapor e o movimento das hélices, ocorre uma diminuição da pressão e da temperatura do vapor, e o processo tende a parar. Para que isso não ocorra, o vapor de água, após passar pela turbina para produzir trabalho, vai para um condensador, onde é transformado em água (liquefaz). O vapor condensado – água – é bombeado sob alta pressão e regressa à caldeira, provocando a repetição do processo, isto é, fazendo que o sistema opere ciclicamente.




As máquinas térmicas funcionam acopladas a duas fontes térmicas mantidas em temperaturas distintas. A chamada fonte quente, mantida à temperatura $\mathbf{T_1}$, é a responsável pelo fornecimento de calor $\mathbf{Q_1}$ à máquina, e a fonte fria, mantida à temperatura $\mathbf{T_2}$ ($\mathbf{T_2} < \mathbf{T_1}$), recebe o calor excedente $\mathbf{Q_2}$, ou seja, o calor não convertido em trabalho. Veja o esquema ao lado.

Essa quantidade de calor $\mathbf{Q_2}$ muitas vezes é denominada **calor eliminado** ou **calor rejeitado** pela máquina. Se aplicarmos a primeira lei da Termodinâmica ao ciclo efetuado por uma máquina térmica, teremos $\Delta U = 0$ (nos ciclos, os estados inicial e final coincidem) e então o trabalho realizado pela máquina $\tau_{ciclo}$ é igual à diferença entre a quantidade de calor $\mathbf{Q_1}$ fornecida à máquina e a quantidade de calor $\mathbf{Q_2}$ rejeitada pela máquina.

$$\tau_{ciclo} = Q_1 - |Q_2|$$

$\mathbf{Q_2}$ está sendo considerado em valor absoluto por se tratar de calor liberado.

Vamos considerar duas formulações para a segunda lei:

### Primeiro enunciado da segunda lei da Termodinâmica

> A transformação de calor em trabalho por um processo cíclico exige a presença de duas fontes térmicas mantidas a temperaturas diferentes entre si. O calor é fornecido pela fonte de temperatura mais alta e parte dele é transferido à fonte mantida em temperatura mais baixa. O trabalho realizado equivale à diferença entre as duas quantidades de calor.

### Segundo enunciado da segunda lei da Termodinâmica

> Nenhuma máquina térmica que opera em ciclos é capaz de transformar integralmente calor em trabalho.



**Figura 13** – Imagem de texto para discussão e levantamento prévio
**Fonte:** BONJORNO & CLINTON, 2016

## Rendimento de uma máquina térmica

O rendimento de uma máquina térmica $\eta$ é a razão entre o trabalho $\tau$ realizado pela máquina em cada ciclo e a quantidade de calor $\mathbf{Q_1}$ que ela consome ou recebe por ciclo.

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1}, \text{ com } 0 < \eta < 1$$

O rendimento pode ser escrito em função apenas das quantidades de calor consumida $\mathbf{Q_1}$ e rejeitada $|\mathbf{Q_2}|$.

Basta lembrar que:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} \Rightarrow \eta = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} \Rightarrow \boxed{\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}}$$

Se todo o calor $\mathbf{Q_1}$ fornecido à máquina fosse transformado em trabalho, a quantidade de calor rejeitada $|\mathbf{Q_2}|$ seria nula e o rendimento seria 100%, o que nunca ocorre. Observe as informações a seguir:

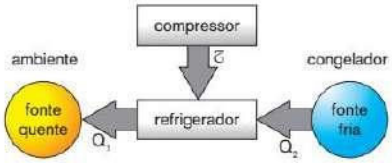
| Máquina | Rendimento aproximado |
|---|---|
| turbina a vapor simples (locomotiva) | 6% a 8% |
| navio a vapor | 12% |
| usina termelétrica a carvão ou óleo | 20% |
| motor a gasolina | 22% a 30% |
| motor a diesel | 30% a 40% |
| usina termelétrica a gás | 40% |

Logo, podemos concluir que não há como construir a máquina térmica perfeita. Em outras palavras, é impossível construir uma máquina que funcione eternamente, fornecendo a ela apenas uma quantidade de energia limitada. Toda máquina térmica deixa de usar uma parte do calor fornecido. É o que significa afirmar que não é possível construir um moto-perpétuo.

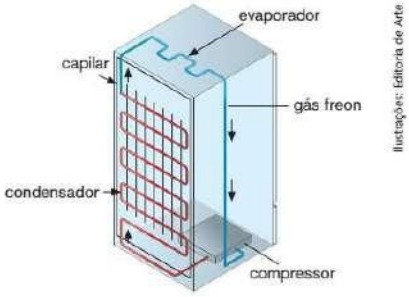
## Refrigerador

Os refrigeradores são classificados como máquinas térmicas que operam em sentido contrário ao dos motores térmicos.

A geladeira doméstica, por exemplo, funciona transferindo o calor $\mathbf{Q_2}$ do seu interior, isto é, do congelador (fonte fria) para o ambiente externo $\mathbf{Q_1}$ (fonte quente) e recebendo o trabalho $\tau = |Q_1| - Q_2$ do compressor.




O sentido de propagação do calor do mais frio para o mais quente ocorre em virtude do trabalho realizado pelo compressor sobre o gás, mantendo-o circulando na tubulação. A figura ao lado esquematiza o mecanismo.




O compressor acionado pelo motor elétrico comprime o gás na fase de vapor que, ao passar pela serpentina, se liquefaz, liberando calor $|\mathbf{Q_1}|$ para o ambiente externo (fonte quente). Na forma líquida, o gás percorre a tubulação no sentido horário e, ao atingir o estrangulamento no congelador, se vaporiza com o calor $\mathbf{Q_2}$ retirado do congelador (fonte fria). Pelo resto da tubulação o gás retorna na forma de vapor para o compressor, onde o ciclo recomeça.



**Figura 13** – Imagem de texto para discussão e levantamento prévio
**Fonte:** BONJORNO & CLINTON, 2016

**APENDICE D – Tutorial de Montagem dos Experimentos**

**TUTORIAL DE MONTAGEM DOS EXPERIMENTOS UTILIZADOS NO PRODUTO**

**INTRODUÇÃO.....04**

**1 Experimento: Tubo de vidro acoplado a uma bexiga.....05**

1.1 Material utilizado na confecção do experimento.....05

1.2 Montagem.....05

**2 Experimento: Tubo de vidro acoplado a uma seringa.....06**

2.1 Material utilizado na confecção do experimento.....06

2.2 Montagem.....07

**3 Experimento: Lamparina.....09**

3.1 Material utilizado na confecção do experimento.....09

3.2 Montagem.....10

**4 Experimento: Lançador de foguetes com garrafa PET fixa.....14**

4.1 Material utilizado na confecção do experimento.....14

**5 Experimento: Motor Stirling tipo beta com cilindro de vidro.....15**

5.1 Material utilizado na confecção do experimento.....15

5.2 Preparação das partes integrantes.....16

5.2.1 Preparação do pistão frio.....16

5.2.2 Preparação do pistão quente.....21

5.2.3 Preparação da base de sustentação do suporte de apoio do virabrequim.....26

5.2.4 Preparação do suporte de apoio do virabrequim.....29

5.2.5 Preparação do eixo virabrequim.....30

5.2.6 Preparação do cilindro de vidro.....35

5.2.7 Preparação do volante do motor.....36

5.3 Montagem.....36

**6 Experimento: Motor Stirling tipo beta feito com latas de refrigerante.....49**

6.1 Material utilizado na confecção do experimento.....49

6.2 Preparação das partes integrantes.....50
6.2.1 Preparação do pistão frio.....50
6.2.2 Preparação do pistão quente.....55
6.2.3 Preparação da base de sustentação do suporte de apoio do virabrequim.....59
6.2.4 Preparação do eixo virabrequim.....61
6.2.5 Preparação do cilindro de lata de refrigerante.....65
6.2.6 Preparação do volante do motor.....66
5.3 Montagem.....66

## INTRODUÇÃO

Este tutorial visa auxiliar os professores ou alunos, na montagem dos experimentos empregados nas aulas do produto educacional presente nesta dissertação, com fotos detalhadas e dicas de como construir o experimento, com a proposta de facilitar a montagem e a estimular o uso dos mesmos.

Na confecção dos experimentos, utilizamos a premissa de que eles fossem de baixo custo, portanto desenvolvemos todos os experimentos, usando materiais que são fáceis de se encontrar nas residências dos professores ou dos próprios alunos, ou de fácil aquisição com custo baixo.

Em se tratando dos motores Stirling, foram confeccionados dois motores, um feito com o cilindro construído com latas de refrigerante, barateando ainda mais o custo da confecção do mesmo e outro com o cilindro em vidro de borosilicato resistente a altas temperaturas, com custo também baixo, porém, um pouco maior que o do motor com latas de refrigerante, mas tem-se um enorme ganho no uso do vidro, pois aumenta a visualização do funcionamento do motor pelos alunos, facilitando a explicação dos conceitos físicos envolvidos no experimento.

É importante lembrar que vários materiais utilizados na montagem dos experimentos podem ser substituídos por similares.

## 1. Experimento: Tubo de vidro acoplado a uma bexiga

**Figura 1 -** Imagem do experimento tubo de vidro acoplado a uma bexiga
**Fonte:** Autoria própria

### 1.1 Material utilizado na confecção do experimento

1- Um tubo de vidro de sopro de borossilicato, resistente a altas temperaturas.

https://br.banggood.com/4pcs-Glass-Tubing-Borosilicate-Pyrex-Tubes-Blowing-Tube-Test-Tube-12mm-x-2mm-x-15cm-p-1356781.html?akmClientCountry=BR&gmcCountry=BR&currency=BRL&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_bgcs&utm_content=zouzou&utm_campaign=pla-brg-tools-pc&cur_warehouse=CN

2- Uma bexiga utilizada em festas infantis.

**Figura 2 -** Imagem do tubo de vidro e bexiga
**Fonte:** Autoria própria

### 1.2 Montagem

Una a bexiga ao tubo e amarre um pedaço de linha de nylon 0,33mm sobre a parte da bexiga que está encaixada no tubo, para evitar qualquer chance de escape do ar contido na bexiga mais tubo.

**Figura 3 -** Imagem do experimento tubo de vidro acoplado a uma bexiga
**Fonte:** Autoria própria

## 2. Experimento: Tubo de vidro acoplado a uma seringa

**Figura 4** - Imagem do experimento tubo de vidro acoplado a uma seringa
**Fonte:** Autoria própria

### 2.1 Material utilizado na confecção do experimento

1- Um tubo de vidro de sopro de borossilicato (mesmo do experimento anterior), resistente a altas temperaturas;

2- Uma seringa com capacidade para 3ml;

3- Calço de borracha utilizada em suporte de fixação de ventilador de teto (consegue em qualquer loja de manutenção de ventiladores), que servirá como vedação entre a seringa e o tubo;

4- Pistola de cola quente.

**Figura 5** - Imagem do tubo de vidro, anel de borracha e uma seringa
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 6** – Imagem ampliada do anel de borracha
**Fonte:** Autoria própria

## 2.2 Montagem

1- Insira o calço de borracha no tubo.

**Figura 7** – Imagem do anel de borracha sendo encaixado no tubo
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 8** – Imagem do anel de borracha encaixado no tubo
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 9** – Imagem frontal do anel de borracha encaixado no tubo
**Fonte:** Autoria própria

2- Encaixe a seringa no orifício da borracha.

**Figura 10** – Imagem lateral da seringa
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 11** – Imagem da seringa encaixada no anel de borracha que está preso ao tubo
**Fonte:** Autoria própria

3- Aplique cola quente em volta da interseção da seringa com o tubo, para fazer a vedação.

## 3. Experimento: Lamparina

**Figura 12** – Imagem da lamparina concluída
**Fonte:** Autoria própria

### 3.1 Material utilizado na confecção da lamparina

1- Um frasco de desodorante (qualquer marca, porém tem que ser metálico).

2- Pedaço de cadarço ou cordão (aproximadamente 15cm, preferencialmente de algodão).

**Figura 13** – Imagem do rolo de cordão
**Fonte:** Autoria própria

3- Silicone resistente a alta temperatura (normalmente os utilizados para vedar aquários, no rótulo informa os valores de temperaturas suportados), será utilizado também na confecção do motor Stirling.

**Figura 14** – Imagem do tubo de silicone
**Fonte:** Autoria própria

4- Serrinha 12”, 24 dentes.

5- Uma lata de alumínio.

## 3.2 Montagem

1- Primeiramente esvazie todo o conteúdo do frasco desodorante e arranque sua tampa.

**Figura 15** – Imagem do frasco de desodorante
**Fonte:** Autoria própria

2-Marque 5cm ou 6cm do topo do frasco.

**Figura 8** – Imagem da marcação da medida no frasco de desodorante
**Fonte:** Autoria própria

3- Utilize a serrinha para serrar o frasco.

**Figura 16** – Imagem do frasco de desodorante sendo serrado
**Fonte:** Autoria própria

4- Arranque com um alicate a válvula que fica no topo do frasco.

**Figura 17** – Imagem do frasco de desodorante serrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 18** – Imagem do fundo do frasco de desodorante depois de serrado
**Fonte:** Autoria própria

5- Corte o fundo da lata de refrigerante com uma tesoura.

**Figura 19** – Imagem do fundo de uma lata de refrigerantes
**Fonte:** Autoria própria

6- Corte o fundo novamente com uma tesoura, ficando na forma da imagem abaixo do lado direito.

**Figura 20** – Imagem do fundo de uma lata de refrigerantes com novo corte
**Fonte:** Autoria própria

7- Una o pedaço do frasco de desodorante ao pedaço do fundo da lata de refrigerante.

**Figura 21** – Imagem do frasco de desodorante serrado sendo encaixado no fundo de uma lata de refrigerantes
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 22** – Imagem aproximada do fundo do frasco de desodorante encaixado no fundo da lata de refrigerantes
**Fonte:** Autoria própria

8- Aplique o silicone na junção dos dois pedaços e insira um pedaço de cadarço de algodão com comprimento de 15cm no furo superior do frasco.

**Figura 23** – Imagem aproximada do fundo da lamparina, após silicone aplicado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 24** – Imagem da lamparina com cordão inserido
**Fonte:** Autoria própria

9- Faça um furo ou dois furos no topo do frasco, para permitir o equilíbrio da pressão.

**Figura 25** – Imagem aproximado da parte superior da lamparina
**Fonte:** Autoria própria

## 4. Experimento: Lançador de foguetes com garrafa PET fixa

**Figura 26** – Imagem do lançador de foguetes acoplado a bomba de encher pneus
**Fonte:** Autoria própria

### 4.1 Material utilizado na confecção do experimento

1- Uma garrafa PET (recomendo da fabricante de refrigerantes Coca-Cola, devido ser a única empresa que encontrei que fez o ensaio de pressão máxima, chegando a 150 PSI).

2- Uma bomba de ar vertical (aconselho que a mesma possua um manômetro, para auxiliar na visualização do valor da pressão, facilitando na compreensão do conteúdo).

3- Um lançador de foguetes feito de pedaços de tubo e conexões (tem várias formas e modelos, não irei detalhar aqui este instrumento, também pode se utilizar uma rolha com um orifício central ao diâmetro da rolha, com o bico da câmara de ar presa ao furo da rolha, é só encaixar a rolha na garrafa PET, depois é só pressurizar, em seguida é só puxar a rolha rapidamente que terá o mesmo resultado). A grande vantagem do lançador com uma válvula de alívio, é que fica mais prático repetir o experimento várias vezes.

## 5. Experimento: Motor Stirling tipo beta com cilindro de vidro

**Figura 27** – Imagem do motor Stirling tipo beta
**Fonte:** Autoria própria

### Comentários:

A grande vantagem deste motor é a fácil visualização do pistão quente (pistão de palha de aço), auxiliando a compreensão do aluno. O custo dele não é tão alto, será necessário gastar com a compra do silicone para altas temperaturas que custa em torno de R$ 18,00 o tubo grande ou R$ 6,00 o tubo pequeno, os conectores que custam em torno de R$ 6,00 a peça com 10 conectores, o raio inox de bicicleta que custa R$ 2,00 e o colar tomada PVC com travas que custa R$ 12,00. Acredito que este experimento pode ser encaixado na classe de baixo custo.

### 5.1 Material utilizado na confecção do experimento

1- Um vasilhame de plástico que costuma se acondicionar balas ou outro similar;
2- Um raio inox 2mm de diâmetro para roda de bicicleta;
3- Uma garrafa plástica (utilizada para armazenar água) com tampa;
4- Uma bexiga;
5- Um béquer de vidro de borossilicato 200ml;
6- Silicone resistente a alta temperatura;
7- 4 mídias (pode ser CD ou DVD);
8- Cola branca;
9- Uma esponja de palha de aço;
10- Um clip para papel tamanho grande e um clip tamanho médio;
11- Seis conectores elétricos;
12- Uma embalagem pack para mídias, pode ser pack para 25 unidades ou 50 unidades;
13- 50 cm de linha de nylon 0,33 mm;

14- Um colar tomada PVC com travas em PVC (só achei da marca tigre);

15- Pistola de cola quente.

## 5.2 Preparação das partes integrantes

### 5.2.1 Preparação do pistão frio

1- Pegue a garrafa de água mineral e corte o gargalo utilizando a serrinha, mas guarde a tampa.

**Figura 28** – Imagem do gargalo cerrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 29** - Imagem da tampa separada do gargalo cerrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 30** - Imagem lateral da tampa separada do gargalo cerrado
**Fonte:** Autoria própria

2- Em seguida faça três furos na tampa alinhados, os dois furos extremos servem para passar o pedaço de clip para papel dobrado e o furo do centro servirá para passar a linha de nylon que fará a ligação entre o pistão de palha de aço e o eixo virabrequim.

**Figura 31** - Imagem da tampa com o clip encaixado na tampa
**Fonte:** Autoria própria

3- Em seguida prepare o clip, desempene-o deixando bem reto.

**Figura 32** - Imagem do clip desempenado
**Fonte:** Autoria própria

4- Depois envergue-o conforme imagem a seguir, faça uso de um alicate para te auxiliar.

**Figura 33** - Imagem lateral do clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

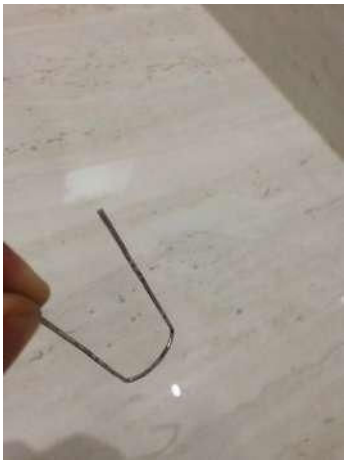


**Figura 34** - Imagem de frente do clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

5- Encaixe o clip dobrado nos furos externos da tampa.

**Figura 35** - Imagem da tampa com o clip encaixado terminado
**Fonte:** Autoria própria

6- Passe cola quente, mas sem tapar o furo do meio, por onde passará a linha de nylon.

**Figura 36** - Imagem do fundo da tampa com o clip encaixado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 37** - Imagem aproximada do silicone aplicado na tampa
**Fonte:** Autoria própria

7- Faça o furo central. O furo central tem que ser praticamente do mesmo diâmetro do fio de nylon que for usar, então, passe o nylon para testar, se ficar atritando, alargue o furo um pouco mais e teste novamente, a linha tem que passar livre, porém sem deixar muito espaço entre a linha e o furo, para que o ar não escape, portanto, tem que ter bastante atenção neste passo.

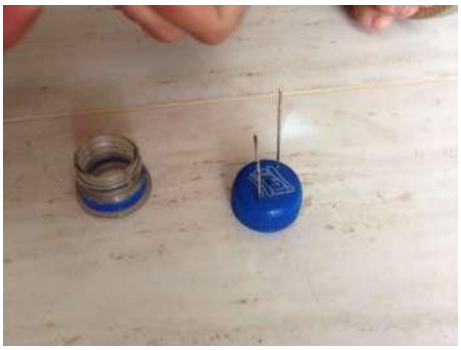


**Figura 38** - Imagem da tampa separada do gargalo
**Fonte:** Autoria própria

8- Pegue a bexiga e corte um pequeno furo central e corte o gargalo da bexiga com uma tesoura, conforme imagem.

**Figura 39** - Imagem da tampa, do gargalo e da bexiga
**Fonte:** Autoria própria

9- Encaixe o furo da bexiga na tampa e enrosque a tampa e está pronto.

**Figura 40** - Imagem da tampa, do gargalo e da bexiga sendo esticada
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 41** - Imagem da bexiga sendo encaixada no gargalo
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 42** - Imagem da tampa, sendo rosqueada no gargalo
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 43** - Imagem lateral do pistão frio pronto
**Fonte:** Autoria própria

### 5.2.2 Preparação do pistão quente

1- Pegue a palha de aço e abra a mesma até ficar do tamanho de uma folha de papel. Depois corte três tira com largura de aproximadamente 5cm.

**Figura 44** - Imagem de uma bucha de palha de aço
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 45** - Imagem demonstrando a abertura da bucha de palha de aço
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 46** - Imagem demonstrando a abertura da bucha de palha de aço
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 47** - Imagem demonstrando o corte da bucha de palha de aço
**Fonte:** Autoria própria

2- Pegue o clip de papel, desempene-o, depois envergue-o e deixe-o conforme a imagem abaixo.

**Figura 48** - Imagem demonstrando o clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 49** - Imagem demonstrando o clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

3- Pegue a primeira tira de palha de aço que você preparou e comesse a enrolar entorno do clip que você preparou e terá um pistão de palha aço, assim que acabar uma tira, emende a outra e continue enrolado até alcançar o diâmetro interno do béquer de vidro, vá enrolando e testando dentro do béquer, lembrando que o pistão deve transitar livremente dentro do béquer, conforme na imagem abaixo. Corte 20cm de linha de nylon 0,33mm e amarre na ponta do pistão.

**Figura 50** - Imagem demonstrando a palha de aço sendo enrolada no clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 51** - Imagem demonstrando a palha de aço sendo enrolada no clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 52** - Imagem demonstrando a palha de aço sendo enrolada no clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 53** - Imagem demonstrando o pistão quente pronto
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 54** - Imagem superior demonstrando o pistão quente encaixado no cilindro de vidro
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 55** - Imagem lateral demonstrando o pistão quente encaixado no cilindro de vidro
**Fonte:** Autoria própria

### 5.2.3 Preparação da base de sustentação do suporte de apoio do virabrequim

1- Pegue o colar tomada PVC com travas e retire as duas travas, serre a ponta.

**Figura 56 –** Imagem do colar tomada PVC com travas
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 57 -** Imagem da ponta do colar sendo serrado
**Fonte:** Autoria própria

2- Serre as partes separadas da conexão ao meio.

**Figura 58 -** Imagem do colar sendo partido ao meio
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 59 -** Imagem do colar sendo partido ao meio
**Fonte:** Autoria própria

Obtendo o seguinte resultado.

**Figura 60 -** Imagem dos dois lados do colar partido ao meio
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 61 -** Imagem dos dois lados do colar partido ao meio unidos
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 62 -** Imagem dos dois lados do colar partido ao meio unidos com uma cunha encaixada
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 63 -** Imagem dos dois lados do colar partido ao meio unidos com duas cunhas encaixadas
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 64 -** Imagem superior dos dois lados do colar partido ao meio unidos com duas cunhas encaixadas
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 65 –** Imagem lateral dos dois lados do colar partido ao meio unidos com duas cunhas encaixadas
**Fonte:** Autoria própria

### 5.2.4 Preparação do suporte de apoio do virabrequim

1- Pegue o vasilhame de plástico e recorte um pedaço do fundo e uma parte da lateral, conforme imagem.

**Figura 66 -** Imagem do recorte feito no vasilhame de plástico
**Fonte:** Autoria própria

2- Faça um furo em cada extremidade para apoiar o eixo virabrequim.

**Figura 67 -** Imagem do furo lateral no vasilhame de plástico
**Fonte:** Autoria própria

### 5.2.5 Preparação do eixo virabrequim

1- Pegue o raio para bicicleta de inox com um comprimento de 17cm e faça as marcações em centímetros, conforme imagem (4,0 - 4,5 - 5,5 - 6,0 - 7,5 - 9,0 - 10,5 - 11,0 - 12,0 - 12,5).

**Figura 68 -** Imagem do raio com régua e marcações
**Fonte:** Autoria própria

2- Vamos preparar o que se assemelha as bielas, pegue o conector de energia e retire 5 conectores, pegue três e faça um furo lateral de 3mm e guarde os outros dois, o furo pode ser com broca ou pra facilitar, pode usar um prego com bastante carinho, que também funciona. Você faz o furo de abertura com o prego e depois com uma chave de fendas fininha, você vai alargando o furo cuidadosamente até alcançar um diâmetro aproximando de 3mm.

**Figura 69 -** Imagem do conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 70 -** Imagem lateral do conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

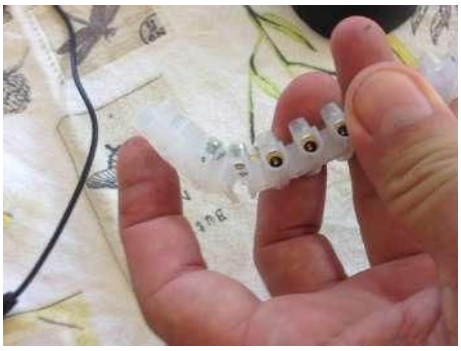


**Figura 71 -** Imagem do conector de energia serrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 72 -** Imagem da preparação do furo no conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 73 -** Imagem do conector de energia furado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 74 -** Imagem do conector de energia furado
**Fonte:** Autoria própria

3- Coloque o conector e faça a primeira dobradura, pode dobrar sem o conector, que se você fez o furo próximo a 3mm, depois de dobrado o conector passa pelas curvas.

**Figura 75 -** Imagem do raio com 1ª dobradura e com conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

4- Faça a segunda dobradura.

**Figura 76 -** Imagem frontal do raio com 2ª dobradura e com conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 77 -** Imagem lateral do raio com 1ª dobradura e com conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

5- Faça a terceira dobradura.

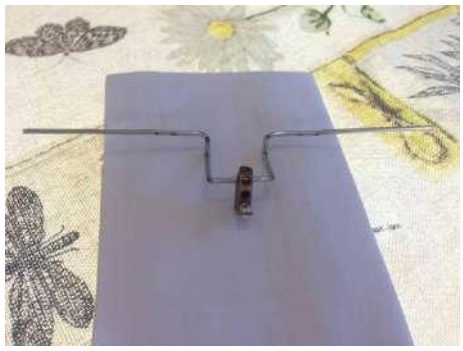


**Figura 78 -** Imagem do raio com 2ª dobradura e com conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 79 -** Imagem do raio com 2ª dobradura e com conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

6- Coloque um conector em cada ponta e faça a nova dobradura, conforme já informei, você pode dobrar sem o conector, que se você fez o furo próximo a 3mm, depois de dobrado o conector passa pelas curvas.

**Figura 80 -** Imagem frontal do raio com 3ª dobradura e com conectores de energia
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 81 -** Imagem superior do raio com 3ª dobradura e com conectores de energia
**Fonte:** Autoria própria

7- Faça a última dobradura, lembrando que os parafusos devem estar sempre para o mesmo lado. Devido o raio de inox ser bem rígido, pode ser necessário, colar uma arruela de cada lado do conector, para que o mesmo não fique se movimentando muito para os lados.

**Figura 82 -** Imagem do raio com 3ª dobradura e com conectores de energia
**Fonte:** Autoria própria

### 5.2.6 Preparação do cilindro de vidro

1- Pegue a tampa do pack para mídias e faça um furo com o mesmo diâmetro do béquer, em seguida encaixe o pack no béquer de vidro e aplique o silicone para alta temperatura no entorno, conforme imagem. Você pode montar todo o motor e só depois por fim, colar o pack no cilindro de vidro, então mostrarei aqui como ele ficará após colado. É importante ressaltar que não pode ficar vazamento de água entre o cilindro e o pack. A função do pack é acumular água para refrigerar o sistema.

**Figura 83 -** Imagem lateral do cilindro de vidro acoplado ao pack do plástico
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 84 -** Imagem superior do cilindro de vidro acoplado ao pack do plástico
**Fonte:** Autoria própria

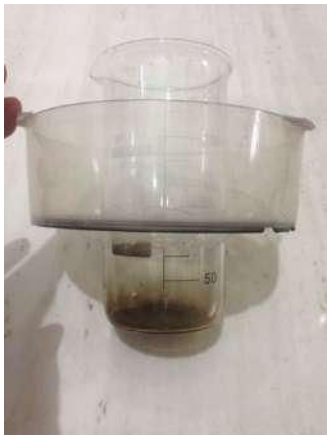


**Figura 85 -** Imagem lateral do cilindro de vidro acoplado ao pack do plástico
**Fonte:** Autoria própria

### 5.2.7 Preparação do volante do motor

Pegue 4 CDs ou DVDs usados e passe cola branca na face de um e cole no outro, repita este passo até colar os 4 CDs ou DVDs um no outro, formando um disco único com as 4 mídias coladas, depois cole uma arruela em cada lado do furo central do disco e encaixe um dos conectores de energia no furo da arruela e aplique cola quente para fixar o conector na arruela, formando um disco com furo no meio.

## 5.3 Montagem

1- Pegue o cilindro de vidro e coloque o pistão quente (feito de palha de aço) com a linha de nylon amarrada pra fora e passe a linha de nylon pelo orifício central da tampinha da garrafa.

**Figura 86 -** Imagem da passagem da linha de nylon no pistão frio
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 87 -** Imagem da linha de nylon já transpassada no pistão frio
**Fonte:** Autoria própria

2- Estique a bexiga e encaixe a mesma no entorno do cilindro e amarre um pedaço de linha de nylon no entorno da bexiga, para evitar que o ar vaze entre a bexiga e o vidro (pode usar uma liga utilizada para prender dinheiro, o nylon dura mais tempo), a bexiga não precisa ficar muito esticada, a tampa deve estar bem solta e flexível.

**Figura 88 -** Imagem do pistão frio acoplado no cilindro de vidro
**Fonte:** Autoria própria

3- Encaixe a base de sustentação do suporte do virabrequim sobre a bexiga, para ajudar na vedação.

**Figura 89 -** Imagem do encaixe do suporte do virabrequim no cilindro de vidro
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 90 -** Imagem do encaixe do suporte do virabrequim no cilindro de vidro
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 91 -** Imagem do suporte do virabrequim encaixado no cilindro de vidro
**Fonte:** Autoria própria

4- Coloque as travas.

**Figura 92 -** Imagem das travas sendo encaixadas no suporte do virabrequim acoplado no cilindro de vidro
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 93 -** Imagem das travas encaixadas no suporte do virabrequim acoplado no cilindro de vidro
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 94 -** Imagem das travas encaixadas no suporte do virabrequim acoplado no cilindro de vidro
**Fonte:** Autoria própria

5- Encaixe o suporte do virabrequim nas travas com os furos alinhados com as travas e aplique cola quente para fixar o suporte às travas.

**Figura 95 -** Imagem do vasilhame sendo colado nas travas do suporte do virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 96 -** Imagem do vasilhame sendo colado nas travas do suporte do virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 97 -** Imagem do furo do vasilhame
**Fonte:** Autoria própria

6- Restando as seguintes peças.

**Figura 98 -** Imagem do motor parcialmente montado
**Fonte:** Autoria própria

7- Encaixe o virabrequim no suporte.

**Figura 99 -** Imagem do encaixe do virabrequim no suporte do virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 100 -** Imagem do encaixe do virabrequim no suporte do virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 101 -** Imagem do encaixe do virabrequim no suporte do virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 102 -** Imagem do virabrequim já encaixado no suporte do virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

8- Encaixe as pontas do clip que foi colado na tampa da garrafa de água (eles devem estar com o mesmo comprimento) aos conectores elétricos e aperte os parafusos do conector, você deve posicionar os conectores na posição mais baixa de giro do virabrequim, observe a terceira foto, como o virabrequim está bem em baixo e a bexiga está plana sem mexer a tampa nem para cima e nem para baixo, essa parte é bem melindrosa e tem que fazer com calma.

**Figura 103 -** Imagem do encaixe do pistão frio no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

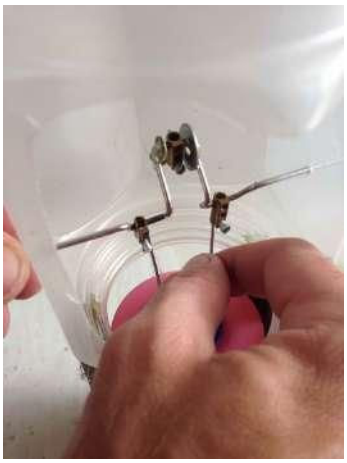


**Figura 104 -** Imagem do encaixe do pistão frio no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 105 -** Imagem da fixação do pistão frio no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 106 -** Imagem do pistão frio fixo no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

9- Encaixe a linha de nylon no conector central e antes de apertar o parafuso, você deve posicionar o conector central na posição mais alta de giro do virabrequim e com o pistão de palha de aço também na parte superior do cilindro, ele não pode ficar encostado no fundo do cilindro, observe a quarta e quinta foto, como ele está bem em cima, mas não é para encostar o pistão na bexiga, deixe 0,5cm de espaço entre a bexiga e o pistão, cuidado pra não apertar muito o parafuso, pois pode acabar cortando o nylon.

**Figura 107 -** Imagem da fixação do nylon do pistão quente no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 108 -** Imagem da fixação do nylon do pistão quente no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 109 -** Imagem da fixação do nylon do pistão quente no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 110 -** Imagem da fixação do nylon do pistão quente no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 111 -** Imagem da fixação do nylon do pistão quente no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 112 -** Imagem da fixação do nylon do pistão quente no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

10- Encaixe o último conector de um dos lados do eixo virabrequim e aperte os parafusos, ele servirá para dar apoio quando você for iniciar o giro do motor com a mão, evitando de ficar girando pelo volante do motor, gire sempre por esse conector.

**Figura 113 -** Imagem da fixação do conector no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

11- Encaixe o volante do motor na outra extremidade do eixo virabrequim, contrária ao que você fixou o conector de energia e aperte os parafusos.

**Figura 114 -** Imagem da fixação do volante do motor no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 115 -** Imagem da fixação do volante do motor no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

12- Encaixe e cole com silicone o pack (caso você já não tenha colado antes).

**Figura 116 -** Imagem da fixação do pack de plástico no cilindro de vidro
**Fonte:** Autoria própria

13- Resultado final do motor pronto encaixado na sua base, que é um suporte para cuador de café.

**Figura 117 -** Imagem do motor Stirling tipo beta
**Fonte:** Autoria própria

## 6. Experimento: Motor Stirling tipo beta feito com latas de refrigerante

**Figura 118 -** Imagem do motor Stirling tipo beta feito com latas
**Fonte:** Autoria própria

### Comentários:

A grande vantagem deste motor é que será necessário somente gastar com a compra do silicone para altas temperaturas que custa em torno de R$ 18,00 o tubo grande ou R$ 6,00 o tubo pequeno e os conectores que custa em torno de R$ 6,00 com 10 conectores. Acredito que este experimento pode ser encaixado na classe de baixo custo. A única desvantagem dele, é que não é possível visualizar o pistão quente no seu efetivo trabalho, dificultando a compreensão do aluno.

### 6.1 Material utilizado na confecção do experimento

1- Duas latas de refrigerante, aconselho que a lata que será aquecida seja da marca Coca-Cola, pois é a que resiste por mais tempo;
2- Uma garrafa plástica (utilizada para armazenar água) com tampa;
3- Uma bexiga;
4- Silicone resistente a alta temperatura;
5- 2 mídias (pode ser CD ou DVD);
6- Cola branca;
7- Uma esponja de palha de aço;
8- Três clips para papel tamanho grande e um clip tamanho médio;
9- Cinco conectores elétricos;
10- Uma lata de leite em pó vazia (400g) ou uma lata de atum vazia (formato cilíndrico);
11- 50 cm de linha de nylon 0,33 mm;
12- Pistola de cola quente.

## 6.2 Preparação das partes integrantes

### 6.2.1 Preparação do pistão frio

1- Pegue a garrafa de água mineral e corte o gargalo utilizando a serrinha, mas guarde a tampa.

**Figura 119** – Imagem do gargalo cerrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 120** - Imagem da tampa separada do gargalo cerrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 121** - Imagem lateral da tampa separada do gargalo cerrado
**Fonte:** Autoria própria

2- Em seguida faça três furos na tampa alinhados, os dois furos extremos servem para passar o pedaço de clip para papel dobrado e o furo do centro servirá para passar a linha de nylon que fará a ligação entre o pistão de palha de aço e o eixo virabrequim.

**Figura 122** - Imagem da tampa com o clip encaixado na tampa
**Fonte:** Autoria própria

3- Em seguida prepare o clip, desempene-o deixando bem reto.

**Figura 123** - Imagem do clip desempenado
**Fonte:** Autoria própria

4- Depois envergue-o conforme imagem a seguir, faça uso de um alicate para te auxiliar.

**Figura 124** - Imagem lateral do clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

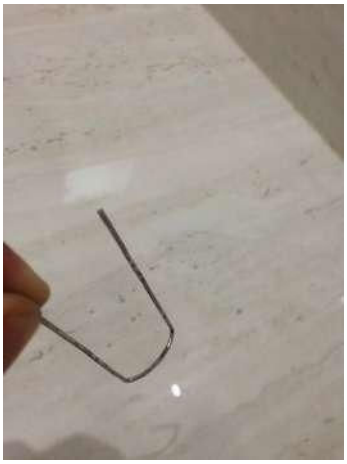


**Figura 125** - Imagem de frente do clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

5- Encaixe o clip dobrado nos furos externos da tampa.

**Figura 126** - Imagem da tampa com o clip encaixado terminado
**Fonte:** Autoria própria

6- Passe cola quente, mas sem tapar o furo do meio, por onde passará a linha de nylon.

**Figura 127** - Imagem do fundo da tampa com o clip encaixado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 128** - Imagem aproximada do silicone aplicado na tampa
**Fonte:** Autoria própria

7- Faça o furo central. O furo central tem que ser praticamente do mesmo diâmetro do fio de nylon que for usar, então, passe o nylon para testar, se ficar atritando, alargue o furo um pouco mais e teste novamente, a linha tem que passar livre, porém sem deixar muito espaço entre a linha e o furo, para que o ar não escape, portanto, tem que ter bastante atenção neste passo.

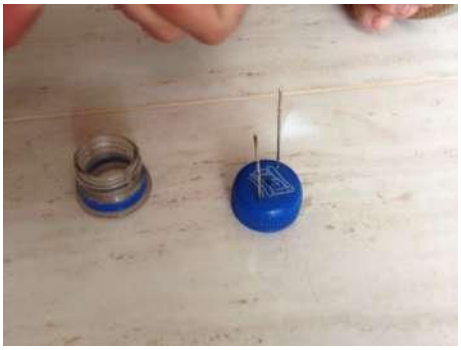


**Figura 129** - Imagem da tampa separada do gargalo
**Fonte:** Autoria própria

8- Pegue a bexiga e corte um pequeno furo central e corte o gargalo da bexiga com uma tesoura, conforme imagem.

**Figura 130** - Imagem da tampa, do gargalo e da bexiga
**Fonte:** Autoria própria

9- Encaixe o furo da bexiga na tampa e enrosque a tampa e está pronto.

**Figura 131** - Imagem da tampa, do gargalo e da bexiga sendo esticada
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 132** - Imagem da bexiga sendo encaixada no gargalo
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 133** - Imagem da tampa, sendo rosqueada no gargalo
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 134** - Imagem lateral do pistão frio pronto
**Fonte:** Autoria própria

### 6.2.2 Preparação do pistão quente

1- Pegue a palha de aço e abra a mesma até ficar do tamanho de uma folha de papel. Depois corte três tira com largura de aproximadamente 5cm.

**Figura 135** - Imagem de uma bucha de palha de aço
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 136** - Imagem demonstrando a abertura da bucha de palha de aço
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 137** - Imagem demonstrando a abertura da bucha de palha de aço
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 138** - Imagem demonstrando o corte da bucha de palha de aço
**Fonte:** Autoria própria

2- Pegue o clip de papel, desempene-o, depois envergue-o e deixe-o conforme a imagem abaixo.

**Figura 139** - Imagem demonstrando o clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 140** - Imagem demonstrando o clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

3- Pegue a primeira tira de palha de aço que você preparou e comesse a enrolar entorno do clip que você preparou e terá um cilindro de palha aço, assim que acabar uma tira, emende a outra e continue enrolado, até alcançar o diâmetro interno da lata de refrigerante, vá enrolando e testando dentro da lata, lembrando que o pistão deve transitar livremente. Corte 20cm de linha de nylon 0,33mm e amarre na ponta do pistão

**Figura 141** - Imagem demonstrando a palha de aço sendo enrolada no clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 142** - Imagem demonstrando a palha de aço sendo enrolada no clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 143** - Imagem demonstrando a palha de aço sendo enrolada no clip dobrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 144** - Imagem demonstrando o pistão quente pronto
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 145** - Imagem superior demonstrando o pistão quente encaixado no cilindro da lata
**Fonte:** Autoria própria

### 6.2.3 Preparação da base de sustentação do suporte de apoio do virabrequim

1- Pegue as duas latas de refrigerante e atrite o tampo superior em um piso áspero ou em uma lixa de aço nº 100 até o tampão de desprender.

**Figura 146 -** Imagem de uma lata de refrigerantes que servirá como suporte para o virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

2- Faça um corte a 10,5cm do tampo superior e em seguida faça uma abertura na frente, para auxiliar na colocação do eixo virabrequim.

**Figura 147 -** Imagem das medidas para o corte do suporte do virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

3- Faça os furos para passagem do eixo virabrequim, um de cada lado da lata, o furo pode ser feito com um prego com diâmetro pouco superior ao diâmetro do clip.

**Figura 148 -** Imagem do furo do suporte para o vira brequim
**Fonte:** Autoria própria

### 6.2.4 Preparação do eixo virabrequim

1- Pegue o raio para bicicleta de inox com um comprimento de 17cm e faça as marcações em centímetros, conforme imagem (4,0 - 4,5 - 5,5 - 6,0 - 7,5 - 9,0 - 10,5 - 11,0 - 12,0 - 12,5).

**Figura 149 -** Imagem do raio com régua e marcações
**Fonte:** Autoria própria

2- Vamos preparar o que se assemelha as bielas, pegue o conector de energia e retire 5 conectores, pegue três e faça um furo lateral de 3mm e guarde os outros dois, o furo pode ser com broca ou pra facilitar, pode usar um prego com bastante carinho, que também funciona. Você faz o furo de abertura com o prego e depois com uma chave de fendas fininha, você vai alargando o furo cuidadosamente até alcançar um diâmetro aproximando de 3mm.

**Figura 150 -** Imagem do conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 151 -** Imagem lateral do conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

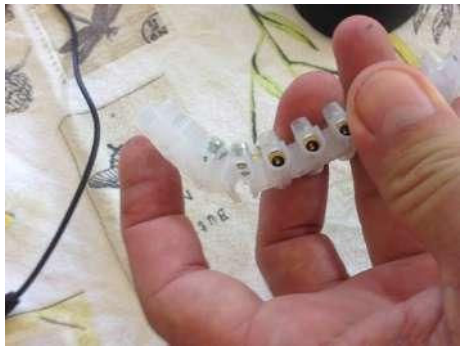


**Figura 152 -** Imagem do conector de energia serrado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 153 -** Imagem da preparação do furo no conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 154 -** Imagem do conector de energia furado
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 155 -** Imagem do conector de energia furado
**Fonte:** Autoria própria

3- Coloque o conector e faça a primeira dobradura, pode dobrar sem o conector, que se você fez o furo próximo a 3mm, depois de dobrado o conector passa pelas curvas.

**Figura 156 -** Imagem do raio com 1ª dobradura e com conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

4- Faça a segunda dobradura.

**Figura 157 -** Imagem frontal do raio com 2ª dobradura e com conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 158 -** Imagem lateral do raio com 1ª dobradura e com conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

5- Faça a terceira dobradura.

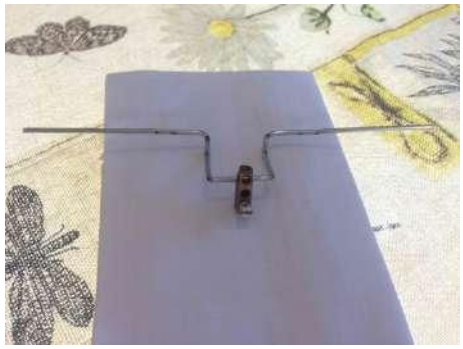


**Figura 159 -** Imagem do raio com 2ª dobradura e com conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

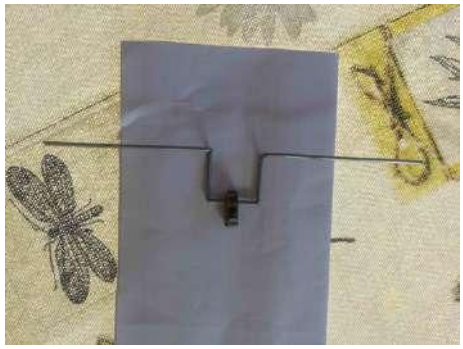


**Figura 160 -** Imagem do raio com 2ª dobradura e com conector de energia
**Fonte:** Autoria própria

6- Coloque um conector em cada ponta e faça a nova dobradura, conforme já informei, você pode dobrar sem o conector, que se você fez o furo próximo a 3mm, depois de dobrado o conector passa pelas curvas.

**Figura 161 -** Imagem frontal do raio com 3ª dobradura e com conectores de energia
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 162 -** Imagem superior do raio com 3ª dobradura e com conectores de energia
**Fonte:** Autoria própria

7- Faça a última dobradura, lembrando que os parafusos devem estar sempre para o mesmo lado. Devido o raio de inox ser bem rígido, pode ser necessário, colar uma arruela de cada lado do conector, para que o mesmo não fique se movimentando muito para os lados.

**Figura 163 -** Imagem do raio com 3ª dobradura e com conectores de energia
**Fonte:** Autoria própria

### 6.2.5 Preparação do cilindro de latinha de refrigerante

1- Pegue a lata de leite em pó ou de atum e faça um furo com o mesmo diâmetro da lata de refrigerante (conforme vários testes com várias latas de refrigerantes de marcas diferentes, a que tem melhor resultado na troca de calor e resistência é a lata de refrigerantes da marca Coca-Cola) e aplique o silicone para alta temperatura no entorno. Você pode montar todo o motor e só no final colar a lata de leite/atum no cilindro, então mostrarei aqui como ele ficará após colado. É importante ressaltar que não pode ficar vazamento de água entre o cilindro e a lata de leite/atum, a função dela é acumular água para refrigerar o sistema (fonte fria), a mais recomendada é a de leite, por acumular maior volume de água.

**Figura 164 -** Imagem de uma lata de refrigerantes que servirá como cilindro do motor
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 165 -** Imagem do reservatório de água, colado ao cilindro com silicone
**Fonte:** Autoria própria

### 6.2.6 Preparação do volante do motor

Pegue 2 CDs ou DVDs usados e passe cola branca na face de um e cole no outro, formando um disco único com as 2 mídias coladas, depois cole uma arruela em cada lado do furo central do disco e encaixe um dos conectores de energia no furo da arruela e aplique cola quente para fixar o conector na arruela.

## 6.3 Montagem

1- Pegue o cilindro de lata e coloque o pistão quente (feito de palha de aço) com a linha de nylon amarrada pra fora e passe a linha de nylon pelo orifício central da tampinha da garrafa.

**Figura 166 -** Imagem da passagem da linha de nylon no pistão frio
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 167 -** Imagem da linha de nylon já transpassada no pistão frio
**Fonte:** Autoria própria

2- Estique a bexiga e encaixe a mesma no entorno do cilindro e amarre um pedaço de linha de nylon no entorno da bexiga, para evitar que o ar vaze entre a bexiga e o vidro (pode usar uma liga utilizada para prender dinheiro), a bexiga não precisa ficar muito esticada, a tampa deve estar bem flexível.

**Figura 168 -** Imagem do pistão frio sendo acoplado no cilindro
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 169 -** Imagem do pistão frio acoplado no cilindro
**Fonte:** Autoria própria

3- Encaixe o suporte do virabrequim na lata, com os furos do suporte alinhados com as pontas do clip do pistão frio.

**Figura 170 -** Imagem do encaixe do suporte do virabrequim no cilindro
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 171 -** Imagem do encaixe do suporte do virabrequim no cilindro
**Fonte:** Autoria própria

4- Encaixe o virabrequim no suporte.

**Figura 172 -** Imagem do encaixe do virabrequim no suporte do virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 173 -** Imagem do encaixe do virabrequim no suporte do virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

8- Encaixe as pontas do clip que foi colado na tampa da garrafa de água (eles devem estar com o mesmo comprimento) aos conectores elétricos e aperte os parafusos do conector, você deve posicionar os conectores na posição mais baixa de giro do virabrequim, observe a terceira foto, como o virabrequim está bem em baixo e a bexiga está plana sem mexer a tampa nem para cima e nem para baixo, essa parte é bem melindrosa e tem que fazer com calma.

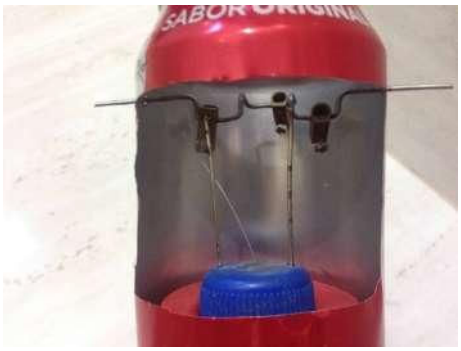


**Figura 174 -** Imagem do encaixe do pistão frio no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 175 -** Imagem do encaixe do pistão frio no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 176 -** Imagem da fixação do pistão frio no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

9- Encaixe a linha de nylon no conector central e antes de apertar o parafuso, você deve posicionar o conector central na posição mais alta de giro do virabrequim e com o pistão de palha de aço também na parte superior do cilindro, ele não pode ficar encostado no fundo do cilindro, o pistão também deve estar posicionado na parte superior mas não pode deixá-lo encostado na bexiga, cuidado pra não apertar muito o parafuso, pois pode acabar cortando o nylon.

**Figura 177 -** Imagem da fixação do nylon do pistão quente no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 178 -** Imagem da fixação do nylon do pistão quente no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 179 -** Imagem superior da fixação do nylon do pistão quente no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

10- Encaixe o último conector de um dos lados do eixo virabrequim e aperte os parafusos, ele servirá para dar apoio quando você for iniciar o giro do motor com a mão, evitando de ficar girando pelo volante do motor, gire sempre por esse conector.

**Figura 180 -** Imagem da fixação do conector no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

11- Encaixe o volante do motor na outra extremidade do eixo virabrequim, contrária ao que você fixou o conector de energia e aperte os parafusos.

**Figura 181 -** Imagem da fixação do volante do motor no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

**Figura 182 -** Imagem da fixação do volante do motor no virabrequim
**Fonte:** Autoria própria

12- Encaixe e cole com silicone a lata de leite/atum (caso você já não tenha colado antes).

**Figura 183 -** Imagem da fixação lata de atum no cilindro de lata
**Fonte:** Autoria própria

13- Resultado final do motor pronto.

**Figura 184 -** Imagem do motor Stirling tipo beta feito com latas
**Fonte:** Autoria própria