INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS - IFAM
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM

RAYSA ZURRA SARAIVA

MÁQUINAS TÉRMICAS – UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DAS LEIS DA TERMODINÂMICA PARA O ENSINO MÉDIO

MANAUS – AM
2016

RAYSA ZURRA SARAIVA

MÁQUINAS TÉRMICAS – UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DAS LEIS DA TERMODINÂMICA PARA O ENSINO MÉDIO

Projeto apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física polo 4.
Área de concentração: Recursos para o Ensino de Física e Novas Tecnologias

Orientador: **Dr. Igor Tavares Padilha**

Coorientadora: **Dra. Débora Coimbra**

MANAUS – AM
2016

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S243m

Saraiva, Raysa Zurra
MÁQUINAS TÉRMICAS – UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DAS LEIS DA TERMODINÂMICA PARA O ENSINO MÉDIO / Raysa Zurra Saraiva. 2016
258 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Igor Tavares Padilha
Dissertação (MNPEF) - Universidade Federal do Amazonas/Intituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas.

1. Ensino de Física. 2. Ensino Médio. 3. Termodinâmica. 4. transposição didática. 5. teoria sócio-histórica. I. Padilha, Igor Tavares II. Universidade Federal do Amazonas III.Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas IV. Título

RAYSA ZURRA SARAIVA

MÁQUINAS TÉRMICAS – UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DAS LEIS DA TERMODINÂMICA PARA O ENSINO MÉDIO

Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal do Amazonas e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Ministério da Educação, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Sociedade Brasileira de Física, Recursos para o Ensino de Física e Novas Tecnologias.

Banca Examinadora:

.....
Prof. Dr. Igor Tavares Padilha – UFAM

.....
Profª. Dra. Marta Feijó Barroso – UFRJ

.....
Prof. Dr. José Ricardo de Sousa – UFAM

.....
Prof. Dra. Rita de Cássia Mota Teixeira de Oliveira – UFAM

.....
Prof. Dr. Francisco Dinóla Neto - UNINORTE

Conceito:.....

Manaus, 04 de Agosto de 2016.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a minha mãe Raimunda Joaquina de Souza Zurra Saraiva, uma mulher incrível, guerreira, da qual tenho muito orgulho e admiração, pois foi uma das pessoas que mais me deu força para o término deste trabalho e que sempre acreditou em meu potencial sempre me estimulando a seguir em frente a pesar de todas as dificuldades.

Dedico também ao meu sobrinho/filho Kauê Miguel Saraiva por ser sempre carinhoso comigo, me esperar todos os finais de semana enquanto eu viajava para estudar, e sempre quando eu voltava era recebida com um abraço apertado e um lindo sorriso em seu rosto, me fazendo acreditar que tudo era possível, me dando forças para seguir em frente.

Dedico ao meu noivo Feliciano Cândido Parente, que me ajudou e me deu apoio durante estes dois anos que ficou distante de mim quase todos os finais de semana, e teve a paciência de me esperar e soube entender os momentos que eu estava distante.

Dedico também aos meus alunos da Escola Estadual Armando de Souza Mendes, que me auxiliaram nos momentos em que eu não podia ministrar aulas e eu passava alguma atividade dirigida, continuamente fazendo o que eu solicitava, e nunca me deixaram na mão, sempre me apoiaram e sentiam orgulho de ter uma professora que estava se capacitando para melhorar suas práticas pedagógicas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois tornou possível tudo isso acontecer, me dando uma família que amo muito, amigos que serão para sempre a força, para nunca desistir daquilo que busco.

À minha mãe Raimunda Joaquina de Souza Zurra Saraiva por nunca deixar de acreditar nos meus sonhos e jamais ter deixado que parasse os estudos, por ter me ensinado ser uma pessoa boa, honesta, responsável e acima de tudo ter respeito pelo ser humano.

A Feliciano Cândido Parente, meu noivo, que sempre me apoiou em vários momentos, sempre escutando meus desabafos, todas minhas frustrações, todas as minhas inquietudes. Creio que não tenha consciência de sua importância nesse processo, mas sem ele, talvez parte desse trabalho não tivesse acontecido de maneira objetiva e clara como aconteceu. Isso só foi possível com suas palavras de incentivo.

A minha irmã, Larysa que sempre esteve ao meu lado, ajudando e apoiando as minhas decisões.

Ao Professor Igor Tavares Padilha que, como orientador, sempre acreditou no meu potencial em desenvolver este trabalho. Sempre foi compreensível com as inquietudes e os problemas com a pesquisa enfrentados durante o período de desenvolvimento desse trabalho. Sendo, muitas vezes, paciente para entender os problemas pessoais e ajudando a superá-los com conversas. Sem mencionar nas enormes contribuições para que me desenvolvesse como pesquisadora.

A professora Débora Coimbra, minha coorientadora por toda colaboração e inspiração para o desenvolvimento deste trabalho, sempre me incentivando, entendendo minhas dificuldades, por ter sido mais que uma colaboradora, se tornando uma grande amiga com quem eu posso sempre contar.

Ao meu concunhado José Gomes Coelho de Bulhões que foi um grande amigo, me ajudando e me socorrendo em todas as dificuldades que passei, tendo paciência e respeito por mim e me cuidando como se eu fosse sua filha.

A minhas cunhadas Joanilde, Célia, Isabel e Teca que sempre cuidaram de mim, me incentivaram, e sempre faziam tudo que estava ao seu alcance para me ajudarem.

Ao meu cunhado Flávio Parente e meu Sogro José Parente por ter me recebido em sua casa e me oferecerem um lar onde eu poderia estudar e me concentrar, sem sofrer nenhum tipo de perturbação durante todo o tempo de meus estudos.

A todos os alunos envolvidos no projeto desta dissertação, pois sem eles jamais poderia ter alcançado meus objetivos. Mas principalmente aos alunos Diego de Souza Pinheiro, Wellison Pereira Silva, Jezica Cabral Franquelino e Gleicivani Mourão da Silva, pois foram os quatro alunos que se dedicaram a construir o motor Stirling em seu contra turno, onde muitas vezes levávamos até a madrugada trabalhando e sempre se demostraram no maior empenho para que tudo desse certo, mesmo nos momentos de dificuldades que passamos.

A direção da Escola Estadual Armando de Souza Mendes primeiramente com dona Erica Marinho, depois com Dona Marilda Cavalcante e por último e até o presente momento com Iranir Torres, pois todos eles organizaram meus tempos de aula para que eu pudesse ficar livre as sextas-feiras, podendo assim cursar o mestrado.

Aos professores da Escola Estadual Armando de Souza Mendes pelo apoio e auxílio em meus tempos de aula quando precisei.

A todas as outras pessoas que passaram pela minha vida e me ajudaram a progredir como pessoa, pesquisadora e educadora.

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudos.

Obrigada a todos!

Raysa Zurra Saraiva

RESUMO

MÁQUINAS TÉRMICAS – UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DAS LEIS DA TERMODINÂMICA PARA O ENSINO MÉDIO

Raysa Zurra Saraiva

Orientador: Dr. Igor Tavares Padilha
Coorientadora: Dra. Débora Coimbra

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A presente dissertação descreve uma proposta didática utilizada para auxiliar professor e alunos na construção de conceitos necessários para o entendimento das Leis da Termodinâmica, tais como, pressão, volume, calor, trabalho e temperatura. Para sua elaboração foi realizada primeiramente uma análise dos livros didáticos presentes no PNLD-2012 utilizando elementos da transposição didática de Chevallard, e como embasamento teórico para a criação e organização de todas as atividades empregamos a teoria sócio-histórica de Vygotsky. Estes procedimentos consistiam na realização de atividades investigativas, experimentais e tradicionais, como a resolução de exercícios. Os produtos gerados consistem em um guia de orientação para o professor, nos quais ele irá encontrar não apenas as atividades da sequência didática que propomos para a aprendizagem destas leis, mas também sugestões de como organizar a dinâmica em sala de aula e de como proceder como mediador durante a realização de tais atividades. Além disso, é apresentado um motor Stirling, confeccionado com materiais reutilizáveis, usado na construção do diagrama P-V do ciclo Stirling.

Palavras-chave: Ensino de Física, Ensino Médio, Termodinâmica, transposição didática, teoria sócio-histórica.

ABSTRACT

THERMAL MACHINES - A PROPOSAL FOR TEACHING THERMODYNAMICS LAWS FOR SECONDARY EDUCATION

Raysa Zurra Saraiva

Supervisor(s):
Dr. Igor Tavares Padilha
Dra. Débora Coimbra

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This thesis describes a didactic proposal used to aid teacher and students in the construction of concepts necessary for understanding the Thermodynamic laws, such as pressure, volume, heat, work and temperature. For its development was first carried out an analysis of textbooks present in PNLD-2012 using elements of Chevallard's didactic transposition, and as a theoretical basis for the creation and organization of all activities employ socio-historical theory of Vygotsky. These procedures consisted in investigative activities, experimental and traditional, like the resolution of exercises. The generated products consist of a guide for the teacher, in which he will find not only the activities of didactic sequence that we propose for learning these laws, but also suggestions on how to organize the dynamics in the classroom and how to proceed as mediator for conducting such activities. In addition, is presented an Stirling engine, made with reusable materials, used in construction of the P-V diagram of the Stirling cycle.

Keywords: Physics Teaching, Secondary Education, Thermodynamics, didactic transposition, socio-historical theory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Configuração dos três sistemas termodinâmicos em contato depois de algum tempo quando atingiram o equilíbrio térmico. 28

Figura 2: Diagrama P x V da relação entre a pressão e o volume a temperatura constante. 31

Figura 3: Diagrama P x V da relação entre a pressão e o volume a temperatura constante. 32

Figura 4: Diagrama P x T da relação entre a pressão e a temperatura com o volume mantido constante. 33

Figura 5: Diagrama mostrando as isotermas associadas a lei de Boyle-Mariotte. 34

Figura 6: Conjunto de isotermas e adiabáticas no diagrama de Clapeyron. As curvas AB e CD são isotermas correspondentes as temperaturas $\boldsymbol{T1}$ e $\boldsymbol{T2}$, respectivamente. As curvas AC e BD são adiabáticas. 38

Figura 7: Experimento “Acerte a Temperatura” (p. 45). 55

Figura 8: Experimento “Bexiga na Seringa” (p. 47). 55

Figura 9: Protótipo do Motor Stirling construído pelos alunos. 57

Figura 10: Linha do tempo construída pela turma A. 64

Figura 11: Linha do tempo construída pela turma B. 64

Figura 12: Linha do tempo construída pela turma C. 65

Figura 13: Alunos realizando o experimento sobre pressão e volume. 66

Figura 14: Segundo protótipo do Motor Stirling com o manômetro para grandes pressões. 83

Figura 15: Segundo protótipo do Motor Stirling com o manômetro para pequenas pressões. 85

Figura 16. Apresentação dos resultados obtidos na Semana Nacional de Ciência e Tecnologia no Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá pelos alunos envolvidos na pesquisa. 86

LISTA DE SIGLAS

MNPEF – Mestrado Nacional em Ensino de Física

PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio

PNLD – Programa Nacional do Livro Didático

SADEAM – Sistema de Avaliação do Desempenho Educacional do Amazonas

SENAC – Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial

SIGEAM – Sistema de Gestão das Escolas do Amazonas.

SNCT – Semana Nacional de Ciência e Tecnologia

TD – Transposição Didática

UEA – Universidade do Estado do Amazonas

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Análise resumida dos livros didáticos do PNLD 2012 22

Quadro 2: Resumo das características dos alunos que participaram da implementação da sequência didática proposta.....47

Quadro 3: Resumo das atividades propostas para o(a) docente e para os alunos..50

Quadro 4: Organização das atividades de acordo com as turmas.....53

Quadro 5: Comparativo da quantidade de acertos entre o pré-teste e o pós-teste..91

Tabela 1. Dados necessários para a construção do gráfico do motor Stirling.....58

Tabela 2. Dados obtidos a partir da filmagem do funcionamento do protótipo do motor Stirling – grupo 3 – Turma A.....73

Tabela 3. Dados obtidos a partir da filmagem do funcionamento do protótipo do motor Stirling – grupo 1 – Turma B.....74

Tabela 4. Dados obtidos a partir da filmagem do funcionamento do protótipo do motor Stirling – grupo 1 – Turma C.....75

Tabela 5: Dados obtidos a partir da filmagem do funcionamento do protótipo do motor Stirling – grupo 2 – Turma C.....76

Sumário

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO 1

1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 1

CAPÍTULO 2. PROBLEMATIZAÇÃO E OBJETIVOS 3

2.1 PROBLEMATIZAÇÃO 3

2.2 OBJETIVO GERAL 4

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4

CAPÍTULO 3. JUSTIFICATIVA, QUESTÃO DA PESQUISA 6

3.1 JUSTIFICATIVA 6

3.2 QUESTÃO DA PESQUISA 7

CAPÍTULO 4. TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA SEGUNDO CHEVALLARD 9

4.1 NÍVEIS BÁSICOS PARA A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA 9

4.2 REGRAS DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA 10

CAPÍTULO 5. TEORIA SÓCIO-HISTÓRICA DE VYGOTSKY 12

5.1 CARACTERÍSTICAS DA TEORIA SOCIO-HISTÓRICA DE VYGOTSKY 12

5.2 A TEORIA DE VYGOTSKY E O DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PROPOSTA 15

CAPÍTULO 6. MÁQUINAS TÉRMICAS NOS LIVROS DO PNLD – 2012 17

6.1 INTRODUÇÃO 17

6.2 A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E A ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DO PNLD 2012 22

CAPÍTULO 7. EMBASAMENTO FÍSICO – TERMODINÂMICA 25

7.1 SENTIDO EPISTEMOLÓGICO DA TERMODINÂMICA 25

7.2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS PARA O ESTUDO DA TERMODINÂMICA 25

7.2.1 Sistemas termodinâmicos 25

7.2.2 Estado de um sistema termodinâmico 26

7.2.3 Processos termodinâmicos 27
7.3 LEI ZERO DA TERMODINÂMICA – TEMPERATURA 27
7.4 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA – CONSERVAÇÃO DA ENERGIA . 29
7.5 EQUAÇÕES DE ESTADO DOS GASES IDEAIS 30
7.5.1 Lei de Boyle-Mariotte 30
7.5.2 Lei de Gay-Lussac 31
7.5.3 Lei de Charles 32
7.5.4 Lei dos gases ideais 33
7.6 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA – ENTROPIA 34
7.6.1 Enunciado de Clausius 35
7.6.2 Enunciado de Kelvin 36
7.6.3 Entropia 37
7.7 APLICAÇÕES DA TERMODINÂMICA 39
7.7.1 Ciência dos materiais 39
7.7.2 Nas indústrias 40
7.7.3 Arquitetura 40
CAPÍTULO 8. METODOLOGIA DA PESQUISA 41
8.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 41
8.2 A METODOLOGIA DE PESQUISA 41
8.2.1 A tomada de dados 44
8.2.2 O local de aplicação 45
8.2.3 As características das turmas 46
8.3 A FIGURA DO PROFESSOR 48
CAPÍTULO 9. SEQUÊNCIA DE ENSINO APREDIZAGEM PROPOSTA 49
9.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA 49
9.1.1 Conceito 49
9.1.2 Estrutura 49

9.1.3 Atividades 50
9.2 ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA 51
CAPÍTULO 10. IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA 54
10.1 DIÁRIO DE ATIVIDADES 54
10.2 RESULTADOS 59
CAPÍTULO 11. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES 88
REFERÊNCIAS 92
APÊNDICE 95

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Uma das macro-áreas[1] da física que possui grande importância é a Termodinâmica. Estudá-la corretamente nos diversos níveis de ensino (Médio e Superior), deve ser uma preocupação essencial para os professores de física, visto que esta é primordial para o entendimento de muitas tecnologias que utilizamos em nosso dia-a-dia, como, por exemplo: geladeiras, aparelhos de ar condicionado, motores, câmaras frigoríficas para conservação de alimentos, unidades de transporte de órgãos para transplante, unidades de conservação para inseminação artificial de gado, usinas termoelétricas, e até a garrafa térmica onde conservamos o café.

Tendo em vista a atualidade moral[2] e biológica[3] do tema, o mesmo tem o privilégio de ter-se estabilizado no currículo escolar de nível médio, uma vez que a compreensão do funcionamento de motores a combustão e refrigeradores é uma demanda para o exercício pleno da cidadania.

Observando tal perspectiva e tentando buscar uma solução possível, elaboramos uma sequência didática sobre o ensino de tais leis por meio da construção e aplicação de uma máquina térmica, no caso específico um motor Stirling, que foi aplicada em uma escola de Ensino Médio da rede pública do interior do estado do Amazonas.

Por meio da aplicação pudemos averiguar que esta sequência é viável e exequível dentro de um bimestre letivo, além de apresentar bons resultados nos aspectos cognitivos e de rendimento escolar, provando sua eficácia.

1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada em 11 capítulos e eles estão dispostos da seguinte forma: no capítulo 1, temos a introdução e a estrutura da dissertação, no capítulo 2, expusemos a problematização e os objetivos e no capítulo 3

---

[1] Segundo Avancini na Revista Educação, ed. 147, é uma das grandes divisões da física, por exemplo, Mecânica, eletromagnetismo.

[2 e 3] Segundo Chevallard (1991) são os eixos temáticos que devem ser atuais e relevantes ao desenvolvimento da humanidade e serem subsidiados pelo cabedal de termos científicos adequados.

apresentamos a justificativa, a questão da pesquisa. No capítulo 4, descrevemos de forma sucinta e objetiva os níveis básicos e as regras da transposição didática segundo Chevallard. No capítulo 5, apresentamos as características fundamentais da Teoria Sócio-Histórica de Vygotsky e como esta foi utilizada como ferramenta para a construção das atividades presentes na sequência didática proposta. No capítulo 6 é feito a análise dos livros didáticos presentes no PNLD – 2012 com enfoque no tema máquinas térmicas, bem como uma breve análise de como a transposição didática foi desenvolvida nestes livros. No capítulo 7, faremos o embasamento físico necessário para o ensino das Leis Termodinâmicas. No capítulo 8, expusemos a metodologia da pesquisa. No capítulo 9, descrevemos as atividades que compõe a sequência didática. No capítulo 10 temos os resultados da intervenção em sala de aula e por último no capítulo 11 apresentamos as considerações finais e as conclusões evidenciando a contribuição do trabalho desenvolvido.

CAPÍTULO 2. PROBLEMATIZAÇÃO E OBJETIVOS

2.1 PROBLEMATIZAÇÃO

Tradicionalmente, a Física é considerada pelos professores uma disciplina difícil de ser ensinada e, consequentemente, os alunos relatam dificuldades de aprendizagem dos conteúdos. Isto ocasionou a redução da carga horária desta disciplina, chegando a um número insignificante em alguns casos, como o do estado de São Paulo que, possui apenas 100 minutos semanais, dois tempos de 50 minutos, conforme a resolução da Secretaria de Educação de São Paulo Nº 81, de 16-12-2011.

No estado do Amazonas, estado de aplicação da sequência didática desta dissertação, a redução da carga horária ocorreu apenas na 1ª série do Ensino Médio, passando a ser como no estado de São Paulo. Nas 2ª e 3ª séries do Ensino Médio continuam sendo 150 minutos semanais, ou seja, 3 tempos de 50 minutos cada. Mas já se cogita uma redução nos próximos anos, principalmente se os resultados do Sistema de Avaliação do Desempenho Educacional do Amazonas - SADEAM em física continuarem diminuindo em vez de aumentarem, conforme as estatísticas dessa avaliação nos anos de 2014 e2015 no estado. Os resultados obtidos com relação à proficiência média, em que a pontuação máxima é de 1000 pontos, no ano de 2014, atingiram-se apenas 510,8 pontos, e, em 2015, foi de apenas 505,8 pontos. Significa dizer que o padrão de desempenho em física dos estudantes encontra-se no nível básico, que corresponde de 0 a 550 pontos. Nesse nível, os alunos do Ensino Médio desenvolveram apenas habilidades elementares para essa etapa de escolarização.

Isto evidencia a necessidade de ações que promovam o desenvolvimento de habilidades abordadas desde o Ensino Fundamental e que são aprofundadas no Ensino Médio. Portanto, procedimentos alternativos de ensino certamente são necessários para instigar a participação dos alunos e aumentar o interesse pelos conteúdos ministrados nas aulas de Física. Esses procedimentos devem ser dinâmicos e devem permitir uma maior interação dos alunos.

O estudante hoje, com toda tecnologia de que dispomos, não se deixa mais atrair por procedimento de ensino exclusivamente expositivo. Isso se constata na falta de interesse dos alunos em aulas convencionais. Além disso, boa parte dos

alunos do Ensino Médio não são estudantes em tempo integral, o que exige ainda mais do professor em termos do planejamento de aulas que atendam às necessidades dos alunos.

Por meio da análise dos livros didáticos aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático – PNLD - 2012, pode-se perceber quão dificultosa ainda é o ensino das leis Termodinâmicas. Alguns, como Gaspar (2010), Barreto e Xavier (2010), Fuke e Kazuhito (2010), destinam apenas quatro laudas para este tema, o que particularmente o torna de um tratamento um tanto reduzido.

O uso de experimentos é uma possibilidade de transição dos modelos tradicionais de ensino para a construção de formas alternativas de ensinar Física. De acordo com nossa experiência, quando o professor introduz os experimentos em uma sala de aula, ele se vê frente a um novo comportamento dos alunos: mais motivados, interessados e participativos, em sua maioria. Mas ressaltamos que o experimento, por si só, não garante sua eficiência, é preciso que este esteja acompanhado de um procedimento didático específico, e, neste caso, adotamos o de mediador na perspectiva Vygotskiana.

Então, a partir destes pressupostos, questionamo-nos: por que os alunos da segunda série do ensino médio, apesar de receberem instrução formal sobre as leis termodinâmicas, ao terminarem tal curso, estão muito distantes do conhecimento cientificamente aceito e não conseguem associá-los ao seu dia-a-dia? E qual ou quais técnicas são mais adequadas para sanarmos tais dificuldades?

2.2 OBJETIVO GERAL

- Compreender as 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica através da sequência didática proposta e da confecção, funcionamento e diagramatização dos protótipos do motor Stirling, proporcionando aos discentes um aprendizado mais adequado dos modelos e representações necessários à formulação dos conceitos envolvidos. Além disso, a análise diagramática dos ciclos de motores permite a compreensão da matemática como estruturante do raciocínio físico.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I. Estruturar a sequência didática.

II. Fazer o levantamento bibliográfico sobre a temática do projeto subsidiando as atividades propostas.

III. Verificar as concepções prévias dos estudantes sobre conceitos termodinâmicos, fazendo um possível diagnóstico que figurará como ponto de partida para as atividades posteriores.

IV. Aplicar a sequência didática.

V. Construir o protótipo do Motor Stirling.

VI. Testar o funcionamento do protótipo do motor Stirling.

VII. Implementar a utilização do protótipo do motor Stirling pelos estudantes em sala de aula, desenvolvendo a habilidade de construção e interpretação de gráficos, com apoio de *software* gratuito apropriado.

VIII. Elaborar o guia de orientação para o professor, com dicas de como a sequência didática deve ser implementada e estruturada dentro da sala de aula.

IX. Apresentar os resultados da pesquisa e do trabalho coletivo dos estudantes; nesse caso, o realizamos nas dependências da escola e no Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá durante a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia – SNCT em outubro de 2015. Os resultados também foram publicados em forma de dissertação no Mestrado Nacional em Ensino de Física – MNPEF – Polo 4 e na Revista Ciência na Escola no ano de 2016.

CAPÍTULO 3. JUSTIFICATIVA, QUESTÃO DA PESQUISA

3.1 JUSTIFICATIVA

Macedo (2002) expõe que o desenvolvimento econômico está diretamente ligado à oferta de energia. Porém, à medida que se avança na busca por fontes energéticas economicamente viáveis, enfrenta-se a delicada questão de preservação ambiental.

A concepção de tecnologias capazes de utilizar os recursos naturais de forma sustentável é um dos principais desafios da engenharia e da sociedade. Este trabalho se insere neste contexto, pois propõe reflexões sobre os conceitos termodinâmicos envolvidos na produção e distribuição de energia, com enfoque crítico. Iniciamos construindo uma versão didática do motor de Stirling e posteriormente foram realizadas algumas adaptações para que este motor nos possibilitasse construir experimentalmente seu diagrama P-V, permitindo aos discentes através da análise diagramática do ciclo deste motor, compreendendo a matemática como estruturante do raciocínio físico.

A determinação da consensualidade do tema no Brasil é delegada à noosfera[4], figurando nos documentos oficiais como o Tema nº 2 apresentado nos PCNEM: “Calor, ambiente e usos de energia” (BRASIL, 1999, p. 73). Usualmente, este conteúdo é apresentado aos alunos do segundo ano do Ensino Médio (mas isso pode variar de acordo com a proposta curricular de cada estado; por exemplo, no estado de Minas Gerais o tema deve ser abordado no primeiro ano), supondo-se que os estudantes já tiveram algum contato com o mesmo na última série do Ensino Fundamental. O próprio documento oficial citado corrobora a importância dada a este tema quando afirma que *em todos os processos que ocorrem na natureza e nas técnicas, o calor está direta ou indiretamente presente* (BRASIL, 1999, p. 73). A contextualização histórica é também destacada no PCNEM+ (BRASIL, 2002), assim como sua atualidade moral e biológica. Ainda, segundo Sartoreli *et al.*

> o estudo e a compreensão dos processos termodinâmicos são de fundamental importância para o entendimento da Física, dado o princípio da

[4] Segundo Chevallard (1991) são os agentes e agências especializados no trabalho mais direto de transposição didática, como por exemplo, os autores de livro didático.

> irreversibilidade incutido nesses processos e nas aplicações tecnológicas deles advindas (1999, p. 116).

Esses mesmos autores afirmam ainda que a Termodinâmica,

> [...] pela sua complementaridade à mecânica, tem grande relevância na compreensão do mundo tecnológico, em cuja base estão as transformações que envolvem calor (SARTORELI et al., 1999, p. 116).

Além desta noosfera, este trabalho também será de grande relevância para os discentes da 2ª série do Ensino Médio, pois por meio deste, eles poderão aprender sobre as 1ª e 2ª leis da Termodinâmica, bem como sua influência para a vida do ser humano e economia da sociedade atual. Ressaltamos que este projeto também possibilita ao aluno relacionar os custos e benefícios da construção e uso das máquinas térmicas, a partir do exemplo do motor de Stirling no nosso dia-a-dia, e desenvolver uma atitude crítica em relação à poluição e a degradação do ambiente, oportunizando o exercício consciente e consequente da cidadania. Também disponibilizará para alunos e professores da Escola um material didático permanente, o motor de Stirling.

Esse recurso didático que foi implementado a partir da conclusão deste projeto, possibilitará mudanças nas aulas de Física, não somente da 2ª série do ensino médio, mas de todas as séries deste nível, e também nas aulas de Ciências Naturais do 6º ao 9º do ensino fundamental, no sentido de um ensino ativo. O funcionamento deste protótipo só pode ser interpretado empregando-se muitos conceitos das ciências, como calor e temperatura, e pela formulação de hipóteses. Deste modo, as aulas se tornam mais atrativas, agradáveis, motivadoras e interativas, e, portanto, espera-se um melhor desempenho escolar por parte dos discentes.

Da constatação desta realidade surgiu a ideia de um projeto de transposição didática do ensino das Leis Termodinâmicas, por meio da aplicação de problemas e experimentos, que constitui o tema do presente projeto.

3.2 QUESTÃO DA PESQUISA

O aprofundamento na disciplina de Termodinâmica se faz necessário, pois esta é uma disciplina que estuda as leis que regem a relação entre calor, trabalho e outras formas de energia (Halliday, 2008) e essa característica está

possibilitando grandes avanços tecnológicos. Ainda, segundo este autor, um dos conceitos centrais da termodinâmica é o de temperatura, e este, por ser de conhecimento prático, pode vir a nos causar certo conflito de ideias ao tentarmos ensiná-la com os termos corretos cientificamente. Neste sentido, supõe-se que seja uma matéria complicada de ser explicada para os alunos do ensino médio, pois necessita que eles possuam um pré-conhecimento em vários conceitos, tais como, calor, energia, temperatura, trabalho, que muitas vezes já o foram ensinados, mas que infelizmente por motivos adversos não puderam ser bem compreendidos.

Propomos então que uma alternativa para possibilitar a compreensão deste tema seria a introdução de problemas práticos e experimentos. Não quaisquer experimentos ou problemas, mas aqueles que se adequem aos pressupostos da teoria sócio-histórica de Vygotsky, tendo o professor como mediador, e aos aspectos na transposição didática, descrita por Chevallard. E neste caso específico trataremos do experimento do motor Stirling, com adaptações para a construção de seu diagrama e dos problemas envolvidos no desenvolvimento do conhecimento científico por meio de sua história.

CAPÍTULO 4. TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA SEGUNDO CHEVALLARD

4.1 NÍVEIS BÁSICOS PARA A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

Em 1975 o sociólogo Michel Verret, apresentou pela primeira vez a ideia de Transposição Didática, mas esta teoria somente foi reconhecida em 1980, quando Yves Chevallard (matemático) a utilizou em seu trabalho sobre o conceito de distância.

Analisando dois trabalhos de Maurício Pietrocola, intitulados "Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna" e "A eletrostática como exemplo de Transposição Didática", podemos conhecer os três níveis que são necessários para ser feita a Transposição Didática (T.D.), que são citado no trabalho de Chevallard. Eles são: o saber sábio, o saber a ensinar e o saber ensinado.

Podemos defini-los segundo Pietrocola (2008) como:

- **Saber Sábio** → conhecimento científico produzido por intelectuais e cientistas, divulgados na elaboração de artigos ou textos para periódicos e é um processo construído em dois contextos: o da descoberta e o da justificação.
- **Saber a ensinar** → simplificação do conhecimento científico, é produzido pelos autores dos livros ou manuais didáticos, especialistas em determinada área do conhecimento, professores (não cientistas) e a opinião pública. Gera um novo saber e é considerado um conhecimento temporário.
- **Saber Ensinado** → conhecimento "passado" em sala de aula, é produzido pelo professor, onde este reorganiza o conteúdo com referências próprias e locais de acordo com o tempo didático[5].

Além desses três processos a Transposição Didática possui características e regras que devem ser respeitadas durante a transposição dos conteúdos entre cada um desses processos.

As características ainda em Pietrocola (2008) são:

[5] Número de aulas correspondente a cada conteúdo previsto no plano de curso.

- **Ser Consensual** → todos os envolvidos no processo de criação e transcrição do conhecimento deve concordar que tal conteúdo é importante e deve ser explorado.
- **Ter Atualidade Moral** → os eixos temáticos devem ser atuais e relevantes ao desenvolvimento da humanidade.
- **Possuir Atualidade Biológica** → os assuntos quando ensinados devem utilizar como suporte os novos termos usados pela ciência.
- **Ter Operacionalidade** → os termos trabalhados devem possibilitar serem explorados através de problemas de aplicação.
- **Possuir Criatividade Didática** → ao transpor um conhecimento deve-se ter uma capacidade criadora para elaborar um novo saber com características próprias da conjuntura que está inserido.

4.2 REGRAS DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

E assim como exposto as características, discorreremos também sobre suas regras. Elas são:

1 – Modernizar o saber escolar: os saberes apresentados na escola devem estar ligados ao desenvolvimento do conhecimento científico. Em virtude de todos os avanços tecnológicos atuais, os conteúdos previstos nos livros didáticos devem ser constantemente atualizados, conforme Brockington (2005, p. 109): “A modernização dos saberes escolar é uma necessidade, pois legitima o programa da disciplina, garantindo seu lugar no currículo”.

2 – Atualizar o saber a ensinar: deve suprimir os eixos temáticos que se tornaram corriqueiros. Alguns conteúdos da física, pelo uso cotidiano, perderam sua característica de serem apenas conhecimentos científicos, tornando-se obsoletos e podendo ser ensinado da mesma maneira por qualquer pessoa que já o tenha aprendido, se tornando “velho” para a sociedade. Daí a necessidade de mudança de paradigma, segundo Astolfi (1997, p. 182): “Para esta renovação, a modernização julgada necessária do lado do Saber Sábio, se soma a uma necessidade de renovação curricular do lado do ambiente do sistema educativo”.

3 – Articular o saber "novo" com o "antigo": ao se introduzir novos conhecimentos deve-se tentar fazer uma conexão com os habituais que estão inseridos em nossas salas de aula.

> Entre os vários objetos do Saber Sábio suscetível a modernização e para diminuir a obsolescência, alguns são escolhidos porque permitem uma articulação mais satisfatória entre o novo que se tenta introduzir, e o velho já provado no sistema e do qual será necessário conservar alguns elementos reorganizados. (ASTOLFI, 1997, p.183)

4 – Transformar um saber em exercício e problemas: trata-se do saber ser operacional, ou seja, possuir atividades que o utilizem. Alguns conteúdos como a Termodinâmica, já foram formuladas inúmeras questões, provando que sua transposição didática já foi realizada. Essa é a regra de maior importância no processo de transformação do saber, pois está ligada diretamente ao processo de avaliação. A aquisição deste saber pelo aluno pode ser confirmada através da habilidade dele em solucionar exercícios e problemas.

> A seleção vai ocorrer a partir da facilidade particular de certos conteúdos para gerar um número grande de exercícios ou atividades didáticas, até mesmo quando estes são nitidamente descontextualizados quanto a sua função, em relação ao conceito original. (ASTOLFI, 1997, p.183)

5 – Tornar um conceito mais compreensível: escrever tópicos que sejam acessíveis e facilitem a aprendizagem dos alunos. A linguagem utilizada durante a transposição deve sair do Saber Sábio e passar para a comunidade de um modo geral, objetivando a aproximação destes conceitos e melhorando o aprendizado por parte dos alunos.

> Um conceito [...] é visto como capaz de diminuir as dificuldades conhecidas como as que os alunos encontram. [...] a coisa do professor é um texto do saber. É então ao texto do saber que ele devolve a etiologia (ciência das causas) o fracasso e, por conseguinte, será nas variações do texto do saber que irá encontrar uma arma terapêutica para as dificuldades encontradas. Podemos aqui medir o caminho do que vai da primeira justificação que introduz o conceito, tal qual como aparece nas instruções, ao interesse que leva conscientemente o professor (diferentes daquele do programa) a este mesmo conceito. (CHEVALLARD & JOSHUA, 1982)

Após apresentarmos e analisarmos os fundamentos básicos (características e regras) da transposição didática faremos a análise dos livros do PNLD, verificando se a T. D. realizada é correta, está incompleta ou não está realizada.

CAPÍTULO 5. TEORIA SÓCIO-HISTÓRICA DE VYGOTSKY

Um dos pontos centrais da teoria de Vygotsky é que o desenvolvimento cognitivo ocorre concomitantemente à socialização do indivíduo. Para Vygotsky, o desenvolvimento cognitivo se dá na interação do indivíduo com o meio, ou seja, está relacionado com o contexto social, histórico e cultural. A seguir discorreremos sobre as características principais de sua teoria sócio-histórica.

5.1 CARACTERÍSTICAS DA TEORIA SOCIO-HISTÓRICA DE VYGOTSKY

A teoria sócio-histórica desenvolvida por Vygotsky se contrapõe a muitos teóricos que concebem o indivíduo enquanto não interacionista. Vygotsky (1988) atribuiu enorme importância ao papel da interação social no desenvolvimento intelectual e cognitivo do ser humano. Uma das suas mais importantes contribuições para a psicologia e para a educação talvez seja a explicação dada à forma como o processo de desenvolvimento é socialmente construído e como aprendizagem e desenvolvimento se inter-relacionam.

Para que ocorra o desenvolvimento cognitivo é necessário que os indivíduos interajam com o meio, fazendo uso de instrumentos e signos para a mediação. As relações sociais são convertidas em funções mentais superiores através da mediação. No ensino, o papel do professor é mediar a conversão da interação social em desenvolvimento cognitivo. Para que esta mediação ocorra são utilizados instrumentos e signos. Instrumento é tudo que pode ser usado para fazer algo e signo são as representações que significam algo para quem está estudando, no caso desta dissertação, as representações necessárias que os discentes farão para a compreensão do conteúdo de Termodinâmica. Como exemplos de signos, podemos citar os números, as equações termodinâmicas e da lei geral dos gases, e como exemplos de instrumentos podemos citar as máquinas. Nesta dissertação um instrumento utilizado foi a construção de um protótipo didático de um motor Stirling.

Tanto instrumentos como signos são criações humanas que influenciam o desenvolvimento social e cultural de uma sociedade. Ao se apropriar dos instrumentos e signos, por meio da interação social, o indivíduo se desenvolve cognitivamente. O desenvolvimento cognitivo passa por duas fases: uma externa, no nível social e uma interna, no nível individual.

Além destas características Vygotsky centra seu enfoque no aspecto histórico-cultural. Baseando-se em quatro pontos determinantes: a mediação, a internalização do conhecimento, a zona de desenvolvimento proximal e a formação de conceitos.

Mediação: é a etapa do desenvolvimento do pensamento centrada na presença de estímulos e signos, o que faz com que o homem modifique as suas atividades psíquicas. Segundo Oliveira (1992, p. 26):

> Enquanto sujeito do conhecimento o homem não tem acesso direto aos objetos, mas um acesso mediado, isto é, feito através dos recortes do real operados pelos sistemas simbólicos que dispõe. O conceito de mediação inclui dois aspectos complementares. Por um lado refere-se ao processo de representação mental: a própria ideia de que o homem é capaz de operar mentalmente sobre o mundo supõe, necessariamente, a existência de algum tipo de conteúdo mental de natureza simbólica, isto é, que representa os objetos, situações e eventos do mundo real no universo psicológico do indivíduo.

Processo de internalização: Para Vygotsky (1990), a interação social é que provoca a alteração e o desenvolvimento das funções psíquicas superiores. O desenvolvimento do pensamento da criança vai do social para o individual. Para Oliveira (1992, p. 27),

> [...] os sistemas simbólicos que se interpõem entre sujeito e objeto de conhecimento têm origem social. [...] Ao longo de seu desenvolvimento o indivíduo internaliza formas culturalmente dadas de comportamento, num processo em que as atividades externas, funções interpessoais, transformam-se em atividades internas, intrapsicológicas. As funções psicológicas superiores, baseadas na operação com sistemas simbólicos, são, pois, construídas de fora para dentro do indivíduo.

Zona de desenvolvimento proximal: Vygotsky (1989) vincula esse conceito à relação entre aprendizagem escolar e desenvolvimento. É esse, talvez, o fator principal da sua teoria, tendo como pressuposto básico a existência de uma diferença entre o escore obtido quando a criança desempenha uma tarefa sozinha, chamada de nível de desenvolvimento real, e quando a desempenha com a ajuda de adultos ou, mesmo, através da cooperação de crianças mais adiantadas, chamado nível de desenvolvimento potencial. A zona de desenvolvimento proximal define aquelas funções que não amadureceram, que estão em processo de maturação e que amadurecerão, estando presentes em estado embrionário. O nível de desenvolvimento real caracteriza o desenvolvimento mental retrospectivamente, enquanto a zona de desenvolvimento proximal caracteriza o desenvolvimento prospectivamente. Conforme Rego (1996, p. 74),

> O conceito de zona de desenvolvimento proximal é de extrema importância para as pesquisas do desenvolvimento infantil e para o plano educacional, justamente porque permite a compreensão da dinâmica interna do desenvolvimento individual. Através da consideração da zona de desenvolvimento proximal, é possível verificar não somente os ciclos já completados, como também os que estão em via de formação, o que permite o delineamento da competência da criança e de suas futuras conquistas, assim como na elaboração de estratégias pedagógicas que auxiliem nesse processo.

Apesar de sabermos que a teoria de Vygotsky foi elaborada observando-se crianças, através de algumas adaptações podemos atingir a zona de desenvolvimento proximal de maneira bem similar nos adolescentes. Uma vez que os adolescentes ainda estão em um processo de formação cognitiva e intelectual assim como as crianças.

Formação de conceitos: A formação de conceitos é, para Vygotsky (1988), uma extensão do processo de internalização. Caracteriza-se pelo confronto entre o conhecimento espontâneo e o científico. Conceito espontâneo é aquele que a criança aprende no seu dia-a-dia em contato com os objetos e suas derivações no seu próprio ambiente de convivência. Científico é o conceito assimilado de forma sistematizada, transmitido intencionalmente por metodologias específicas e decorrentes do processo ensino-aprendizagem desenvolvido no ambiente escolar. Vygotsky (1990) acredita que esses dois conceitos relacionam-se e influenciam-se constantemente, fazendo parte de um único processo: o desenvolvimento da formação dos conceitos. Pode-se dizer que essa formação de conceitos é afetada por diferentes condições, tendo no aprendizado escolar a força que impulsiona o desenvolvimento mental da criança. No entanto, cabe salientar que uma vez que os conceitos científicos e espontâneos são adquiridos em condições diferenciadas, produzirão, igualmente, desenvolvimentos diferenciados na mente da criança.

Pode-se considerar que, por trás de qualquer conceito científico, exista um sistema hierarquizado do qual ele faz parte e que, por sua vez, pressupõe uma relação consciente e consentida entre sujeito e objeto do conhecimento. Vygotsky entende que, à medida que os conceitos científicos avançam, os espontâneos também progridem, permitindo que a relação se dê cada vez mais de forma integrada e associada. E que a tarefa principal do professor é de mediador entre o aluno e o objeto de conhecimento.

5.2 A TEORIA DE VYGOTSKY E O DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PROPOSTA

Pelo contexto histórico em que o conhecimento sobre o desenvolvimento e a evolução das máquinas térmicas originou-se, faz necessário abordá-lo em sala de aula em uma perspectiva diferente da apresentada nos livros didáticos do PNLD – 2012, que não dão ênfase para o contexto das relações sociais.

Ao analisarmos os livros didáticos e suas fundamentações teóricas, podemos inferir baseados nas sugestões dadas pelos autores, a que mais se adequaria ao contexto escolar em que a sequência didática seria aplicada é a concebida por Levy Vygostsky. Uma vez que a teoria sócio-histórica preconiza o aprendizado através de signos e de (deixar claro o porquê).

As atividades previstas na sequência didática utilizada no desenvolvimento desta dissertação utilizaram-se das características da teoria de Vygotsky do seguinte modo:

1 – As atividades desenvolvidas, exceto na resposta aos questionários de pré-teste e pós-teste, foram realizadas em grupos, possibilitando a interação entre os discentes na troca de seus significados.

2 – O professor foi pensado apenas como mediador dos grupos conduzindo-os até o ponto em que passem a compartilhar os mesmos significados.

3 – A abordagem histórica utilizada na construção da linha do tempo foi utilizada para que os discentes percebessem as contínuas mudanças nas “verdades científicas”, e também a possibilidade de terem uma visão mais abrangente de como a Física, a Tecnologia e o progresso da Humanidade estão relacionados. Dando assim ênfase para o contexto das relações sociais, de acordo com Taille (1996), “não há nada no indivíduo que antes não tenha existido no contexto das relações sociais”.

4 – Foram realizadas aulas de laboratório com a realização de experimentos, o que segundo Moreira e Ostermann (1999) estimulam o processo de formação da zona de desenvolvimento proximal.

5 – A construção do protótipo do Motor Stirling possibilitou a abertura de um canal para o diálogo entre os próprios alunos e entre o professor e os alunos, proporcionando assim a interação e a troca de significados. De acordo com Farias (1992), quando o aluno se envolve na construção de material para a realização de

experimento ele demostra mais facilidade e domínio na forma de proceder à investigação, sentindo-se responsável pelo sucesso dos experimentos.

6 – A análise dos resultados pautou-se na forma como os sujeitos envolvidos demonstram ter aprendido o conteúdo, ou seja, segundo esta teoria seria quando estes demonstram compartilhar os significados aceitos no contexto social, pela comunidade de usuários, no caso da Física, a comunidade científica. Conforme Moreira (1999):

> [...] na interação social que deve caracterizar o ensino, o professor é o participante que já internalizou os significados socialmente compartilhados para os materiais educativos do currículo. Em um episódio de ensino, o professor, de alguma maneira, apresenta ao aluno significados socialmente aceitos, no contexto da matéria de ensino, para determinado signo – da Física, da Matemática, da Língua Portuguesa, da Geografia. O aluno deve, então, de alguma maneira, “devolver” ao professor o significado que captou. O ensino se consuma quando aluno e professor compartilham significados. (p. 120)

Estas foram as principais características utilizadas para a elaboração da sequência didática.

CAPÍTULO 6. MÁQUINAS TÉRMICAS NOS LIVROS DO PNLD – 2012

6.1 INTRODUÇÃO

Os livros didáticos são fundamentais para professores e alunos terem os subsídios básicos necessários no cumprimento dos objetivos educacionais de cada escola. Observando tal característica resolveu-se verificar como a transposição didática no tema Máquinas Térmicas está sendo feita nos dez livros que constam no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) – 2012, dos seguintes autores: Gaspar (2010), Máximo e Alvarenga (2010), Sant'Anna et al (2010), Torres, Ferraro e Soares (2010), Biscuola, Villas Bôas e Doca (2010), Barreto Filho e Silva (2010), Gonçalves Filho e Toscano (2010), Pietrocola et al (2010), Fuke e Yamamoto (2010) e Kantor et al (2010). Além destas obras, utiliza-se como fonte de dados o Guia do PNLD 2012 (BRASIL, 2012), e as orientações pedagógicas fornecidas aos professores, pelos autores dos livros em anexo ao livro do professor.

Esta análise foi desenvolvida de forma qualitativa visando observar se as características da Transposição Didática (T.D.) descritas na obra de Chevallard foram alcançadas de forma apropriada e se estão respeitando o desenvolvimento cronológico dos acontecimentos. Tais apreciações serão expostas a seguir em ordem alfabética de acordo com o nome dos livros.

1 – Compreendendo a física – Alberto Gaspar. Editora Ática

- A contextualização histórica ocorre através de um texto opcional antes do início do capítulo.
- Traz de forma qualitativa, com muitos gráficos.
- Descreve o ciclo de Otto e o Ciclo de Carnot.
- É dedicado apenas um subtítulo ao tema.
- É tratado como exemplificador da 2ª Lei da Termodinâmica, no final do capítulo.
- Faz a didatização da máquina térmica (fonte quente e fria).
- Sugestão do autor: construir uma máquina de Stirling.

2 – Conexões com a física – Blaidi Sant'Anna, Glória Martini, Hugo Carneiro Reis, Walter Spinelli. Editora Moderna

- Não traz aporte histórico, apenas cita o criador da máquina térmica.
- Menciona do motor a quatro tempos.
- Traz como leitura opcional o funcionamento e a diferença entre motores 1.0, 1.4, 1.6, e 2.0, com imagens representativas.
- Trata das Máquinas frigoríficas;
- Possui um texto de apoio questionando se é possível construir um moto-perpétuo.
- Não apresenta gráficos na 2ª lei, apenas na primeira, mas é solicitado na resolução dos exercícios propostos.
- Faz a didatização da máquina térmica (fonte quente e fria).
- Sugestão do autor: mostrar uma animação para diferenciar a máquina térmica de combustão externa, com a máquina a vapor e os motores de combustão interna.

3 – Curso de física – Antônio Máximo Ribeiro da Luz e Beatriz Alvarenga Alvarez. Editora Scipione

- O tema é tratado como um tópico especial (extra e não obrigatório).
- Faz o aporte histórico, com ilustrações e contextos.
- Não faz análise nem qualitativa e nem quantitativa de nenhum gráfico, aliás, eles não estão presentes nesse tópico. Irão aparecer apenas em um tópico posterior chamado de informações adicionais e somente o correspondente ao Ciclo de Carnot.
- Traz a didatização da fonte quente e fria.
- Apresenta um sub-índice sobre as máquinas frigoríficas.
- Sugestão dos autores: apresentar o modelo da primeira máquina térmica como curiosidade.

4 – Física – ciência e tecnologia – Carlos Magno A. Torres, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio de Toledo Soares. Editora Moderna.

- O aporte histórico é feito de forma bem sucinta quase inexistente citando apenas Sadi Carnot e Max Planck, sem comentar como foi o desenvolvimento da máquina térmica.
- Nenhum gráfico no assunto, apenas nos exercícios.
- Faz a didatização da máquina térmica (fonte quente e fria).
- Apresenta um sub-índice exclusivo para os motores a combustão e dentro dele fazem o detalhamento de todas as partes.
- Traz a explicação do motor a 4 e 2 tempos.
- Analisa qualitativamente o Ciclo de Otto e Diesel, fazendo a contextualização histórica.
- Sugestão dos autores: pedir para os alunos buscarem manuais de instruções de refrigeradores de vários modelos e apresentar animações e vídeos que mostram as diferentes partes que compõem um motor a explosão, sua montagem e seu funcionamento: um de acordo com o Ciclo Otto e outro com o Ciclo Diesel.

5 – Física – Gualter, Helou e Newton. Editora Saraiva

- Bom detalhamento histórico, bem ilustrado, sem gráficos, só há gráficos para o ciclo de Carnot, que é qualitativo.
- O Ciclo Otto não é descrito e o Ciclo Diesel aparece apenas no exercício.
- Não descreve e nem cita o motor a quatro tempos.
- Menciona apenas do ciclo da geladeira de forma qualitativa e sem representação gráfica.
- Só é solicitada análise gráfica nos exercícios propostos, pois foram dados anteriormente na abordagem da primeira lei.
- Sugestão dos autores: Citar exemplos de máquinas térmicas encontradas no nosso dia-a-dia.

6 – Física aula por aula – Benigno Barreto Filho, Cláudio Xavier da Silva. Editora FTD

- Não possui nenhuma referência histórica.

- Explica o funcionamento de um motor a quatro tempos, com ilustrações.
- Mostra o rendimento de uma máquina térmica com um esquema bem comum a todos os livros.
- Apresenta o gráfico apenas para o ciclo de Carnot de forma qualitativa.
- Possui um subtítulo mencionando sobre as máquinas frigoríficas, utilizando-se de esquema.
- As Máquinas Térmicas são utilizadas para representar a transformação cíclica, antes da 2ª Lei, e esta é representada pelo ciclo de Carnot e pelas máquinas frigoríficas.
- A recomendação dos autores é que se faça uma retomada nos conceitos de conservação e transformação de energia.

7 – Física e realidade – Aurélio Gonçalves Filho, Carlos Toscano. Editora Scipione

- Destina um capítulo inteiro sobre as máquinas térmicas.
- Inicia fazendo um aporte histórico, depois define o motor de combustão interna, mostra ilustrações para explicar suas partes externas e internas.
- Explica as etapas do funcionamento de um motor a 4 tempos com ilustração para cada etapa do processo.
- Faz a análise qualitativa, através de gráficos, das transformações gasosas no motor de um automóvel, passo a passo, para no final construir o diagrama de funcionamento do motor de um automóvel Descrevendo todo o processo do ciclo de Otto, mas não o identificando.
- Traz o tema como introdução antes de mencionar as leis da Termodinâmica, e trata apenas da 1º Lei.
- Sugestão do autor: trabalhar um projeto interdisciplinar no final do capítulo intitulado “As máquinas que nos rodeiam”, pedindo para os alunos montarem uma tabela sobre as diversas máquinas térmicas presentes no cotidiano, sua função social e os problemas por elas gerados.

8 – Física em contextos – pessoal – social – histórico – Alexander Pogibin, Maurício Pietrocola, Renata de Andrade e Talita Raquel Romero. Editora FTD

- O aporte histórico é bastante detalhado mencionando de como surgiram as primeiras Máquinas térmicas.
- Apresenta o Ciclo Otto e o Ciclo de Carnot com gráficos.
- O único livro que apresenta o estudo qualitativo e quantitativo dos ciclos de Carnot e Otto.
- É o livro que apresenta maior número de laudas para o tema, totalizando 26.
- Faz a didatização da máquina térmica (fonte quente e fria).
- Sugestão do autor: experimentos de como as máquinas térmicas estão associadas aos sistemas vivos.

9 – Física para o ensino médio – Fuke e Kazuhito. Editora Saraiva

- Este livro cita fatos históricos essenciais sobre as máquinas térmicas, a utilizando para ilustrar a 2ª Lei da Termodinâmica.
- Apresenta apenas análise qualitativa do motor a quatro tempos sem sua representação gráfica.
- Traz a didatização da fonte quente e fria.
- No manual do professor é sugerida a construção de uma máquina de Heron sendo trabalhada apenas de forma qualitativa.

10 – Quanta física – Carlos Aparecido Kantor, Lilio Alonso Paoliello Junior, Luis Carlos de Menezes, Marcelo de Carvalho Bonetti, Osvaldo Canato Junior e Viviane Moraes Alves. Editora PD.

- O aporte histórico é bem detalhado apresentando a evolução das máquinas térmicas.
- Apresenta os ciclos Otto e de Carnot de forma qualitativa.
- Traz a didatização da fonte quente e fria.
- O espaço dedicado ao tema é de 12 laudas.

- Sugestão do autor é a física do cotidiano e associação com sistemas vivos

A análise dos livros apresentando as características da Transposição Didática descrita por Chevallard é apresentada na seção a seguir, pois necessitaríamos antes explicar as características utilizadas para depois fazermos a associação com o conteúdo analisado nos livros do PNLD de Física – 2012.

6.2 A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA E A ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DO PNLD 2012

A verificação da compatibilidade entre o que é proposto nos documentos oficiais e o que está presente nos livros didáticos tem sido realizada no âmbito do Plano Nacional do Livro Didático (PNLD), cujo processo de avaliação, que compreende diversas etapas e equipes específicas de especialistas estabelecidas para esse fim, culmina com a avaliação pelos professores dos livros previamente selecionados.

Quadro 1: Análise resumida dos livros didáticos do PNLD 2012.

Autor	Nome do livro	Traz o aporte histórico	Ciclo de Otto	Ciclo Diesel	Análise Gráfica	Espaço dedicado ao Tema	Fonte quente e fria.	Sugestão do autor
Gaspar	Compreen-dendo a Física	Sucinto	Sim	Não	Qualitati-va	4 laudas	Sim	Construir uma máquina Stirling.
Spinelli, et all	Conexões com a Física	Não	Sim	Não	Qualitati-va	7 laudas	Sim	Apresentar uma animação
Máximo e Alvarenga	Curso de Física	Sucinto	Não	Não	Não ocorre	5 laudas	Sim	Apresentar o modelo da primeira M. T.
Nicolau, et all	Física Ciência e Tecnologia	Sucinto	Sim	Sim	Qualitati-va	10 laudas	Sim	Manuais de instruções, animações e vídeos.
Gualter, et all	Física	Detalhado	Não	Não	Não há.	7 laudas	Sim	Citar exemplos de M. T. encontradas no nosso dia-a-dia.
Benigno e Xavier	Física aula por aula	Não ocorre.	Não	Não	Não há.	4 laudas	Sim	Retomada nos conceitos de conservação e

								transformação de energia
Gonçalves Filho, Toscano	Física e Realidade	Sucinto	Sim	Não	Qualitati-vamente	8 laudas	Não	Trabalhar um projeto interdisciplinar no final
Pietrocola et all	Física em contextos	Detalhado	Sim	Sim	Qualitati-va e quantitati-va	26 laudas	Sim	Experimentos e máquinas associadas a sistemas vivos
Fuke e Kazuhito	Física para o ensino médio	Sim	Não	Não	Não	4 laudas	Sim	Construção de uma máquina de Heron
Kanto, et all	Quanta Física	Detalhado	Sim	Sim	Qualitati-va	12 laudas	Sim	Física do cotidiano e associação com sistemas vivos

Fonte: A própria autora.

Através da análise do Quadro 1, podemos perceber que em nove dos livros selecionados, a transposição didática sobre máquinas térmicas é realizada apenas de forma qualitativa e como demonstração ou justificativa da Segunda Lei da Termodinâmica, a primeira Lei é abordada de forma bem sucinta. Concluímos que, apesar deste tema ser bem conhecido e seu ensino preconizado nos documentos oficiais, muito há para ser feito em termos da transposição didática do mesmo, pois, em várias obras em média está apresentado em seis laudas, dando mais prioridade para aspectos não tão relevantes. De acordo com Cordeiro e Peduzzi (2013, p. 9): “Na transposição didática, Chevallard defende que as transformações do saber são feitas para que ele adquira logicidade e publicidade e para que ele dê conta de expectativas da sociedade para a educação”.

Pensamos que as transformações visando a logicidade não devem embutir descontextualizações e simplificações que descaracterizem a ciência enquanto construção humana coletiva e histórica, e também, a representação quantitativa dos conceitos envolvidos.

Tendo em vista os condicionantes e a responsabilidade dos professores na tarefa de analisar e escolher os livros que utilizará em sua prática pedagógica, a elaboração de instrumentos que possam auxiliá-los na sua tarefa justifica a

importância de pesquisas que possam contribuir para a seleção dos livros didáticos. Mais do que isso, instrumentos subsidiados em referenciais teóricos consistentes podem subsidiar o exercício da vigilância epistemológica pelo professor.

CAPÍTULO 7. EMBASAMENTO FÍSICO – TERMODINÂMICA

Neste capítulo, abordaremos alguns conteúdos fundamentais sobre a Termodinâmica, desde o sentido epistemológico até algumas aplicações tecnológicas, necessários à compreensão, desenvolvimento e posterior aplicação da sequência didática proposta, sendo desenvolvido de maneira sucinta. Iniciaremos discorrendo sobre os conceitos fundamentais para o ensino das leis termodinâmicas, posteriormente sobre a lei zero, primeira e segunda leis termodinâmicas e finalizaremos expondo algumas aplicações da termodinâmica.

7.1 SENTIDO EPISTEMOLÓGICO DA TERMODINÂMICA

Segundo Halliday (2008): Termodinâmica (do grego θερμη, *therme*, significa “calor” e δυναμις, *dynamis,* significa “dinâmico”) é o ramo da Física que estuda os efeitos da mudança de temperatura, pressão e volume em sistemas físicos na escala macroscópica. De uma maneira bem geral calor significa "energia" em trânsito, e dinâmica se relaciona com "movimento". Por isso, em essência, a Termodinâmica estuda o movimento da energia e como a energia cria movimento.

7.2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS PARA O ESTUDO DA TERMODINÂMICA

Para entendermos melhor a respeito da termodinâmica, faz-se necessário definirmos alguns conceitos importantes:

7.2.1 Sistemas termodinâmicos

De acordo com Lucie (1980), um sistema termodinâmico é no sentido largo, qualquer sistema cujo estado é capaz de modificar-se quando interage com o meio externo. No sentido restrito, porém, costuma-se restringir o qualificativo de “termodinâmico” aos sistemas cujo estado exige, para ser definido, variáveis não puramente mecânicas, como por exemplo, a temperatura, a energia interna, a entropia, etc... Essas grandezas serão definidas posteriormente.

Esse sistema consiste numa certa quantidade de matéria definido por limites reais ou imaginários (recipiente), que selecionamos com o objetivo de delimitar o estudo da energia e suas transformações. O sistema selecionado poderá ser grande ou pequeno, como por exemplo, um sistema de refrigeração de um refrigerador ou

condicionador de ar, ou simplesmente o gás que ocupa o espaço do cilindro num compressor.

Outra característica do sistema é a que o define como isolado, fechado ou aberto. Um sistema isolado é aquele que não troca energia nem matéria com a sua vizinhança, no sistema fechado somente a energia transpõe os limites do sistema, enquanto no aberto, tanto a energia quanto certa quantidade de matéria transpões os limites. Para conhecermos essa característica necessitamos saber como é a parede desse sistema. Ela pode ser segundo Nussenzveig (2002):

- **Móvel**: o estado do sistema interno é alterado pela transferência de energia na forma de trabalho mecânico.
- **Diatérmica**: “transparente ao calor”, o estado do sistema contido no recipiente é afetado pelo ambiente externo em que é colocado, ou seja, permite transferência de energia na forma de calor entre o sistema interno e o ambiente externo;
- **Permeável**: o estado do sistema contido no recipiente é alterado através da transferência de matéria, entre o ambiente externo e o sistema interno;
- **Adiabática**: o estado do sistema contido no recipiente não é afetado pelo ambiente externo em que é colocado.

7.2.2 Estado de um sistema termodinâmico

Os parâmetros que caracterizam o estado de um sistema são as variáveis termodinâmicas, ou seja, este será descrito pelo conjunto de propriedades físicas do sistema, como a temperatura (T), pressão (P), volume (V), massa específica (m), energia interna (U) e entropia (S), etc. O estado é uma condição momentânea do sistema, onde somente pode ser descrito enquanto as propriedades deste sejam imutáveis naquele momento, enquanto há o equilíbrio.

Por exemplo, dada uma determinada massa de determinado gás, 3,0 g de oxigênio, o estado do gás será determinado se conhecermos o valor da pressão e o valor do volume, ou o valor da pressão e o valor da temperatura, etc...

O estado de equilíbrio termodinâmico de um gás ou de um fluido homogêneo é caracterizado por qualquer par das três variáveis (P, V, T), sendo assim um

sistema bidimensional. Se o fluido for polarizável, e está situado em um campo elétrico, então um estado de equilíbrio necessitará de três variáveis para ser determinado, por exemplo, pressão, volume e campo elétrico, temos neste caso um sistema tridimensional. Na ausência do campo seria um sistema bidimensional. Observamos então que o número de variáveis necessárias para definir o estado de equilíbrio de um sistema depende das condições impostas pelo meio externo.

7.2.3 Processos termodinâmicos

Segundo Oliveira (2005), processo termodinâmico é quando um sistema termodinâmico tem seu estado termodinâmico modificado, ou seja, é o caminho que um sistema usa para percorrer sucessivos estados termodinâmicos. No estudo da termodinâmica de equilíbrio nos interessa particularmente os processos cujos estados inicial e final sejam estados de equilíbrio termodinâmicos. Os estados intermediários não podem ser todos de equilíbrio, pois é necessário retirar o sistema de seu estado de equilíbrio inicial para que o processo se realize. É possível acontecer que todos os estados intermediários sejam estados fora de equilíbrio, como ocorre com a expansão livre de um gás.

Dentre diferentes processos temos o quase-estático que de acordo com Oliveira (2005) é aquele em que as perturbações do equilíbrio termodinâmico é infinitesimal e todos os estados pelo qual o sistema passa pode ser considerado como estados de equilíbrio. Muitos processos reais podem ser aproximados com precisão pelo processo quase-estático.

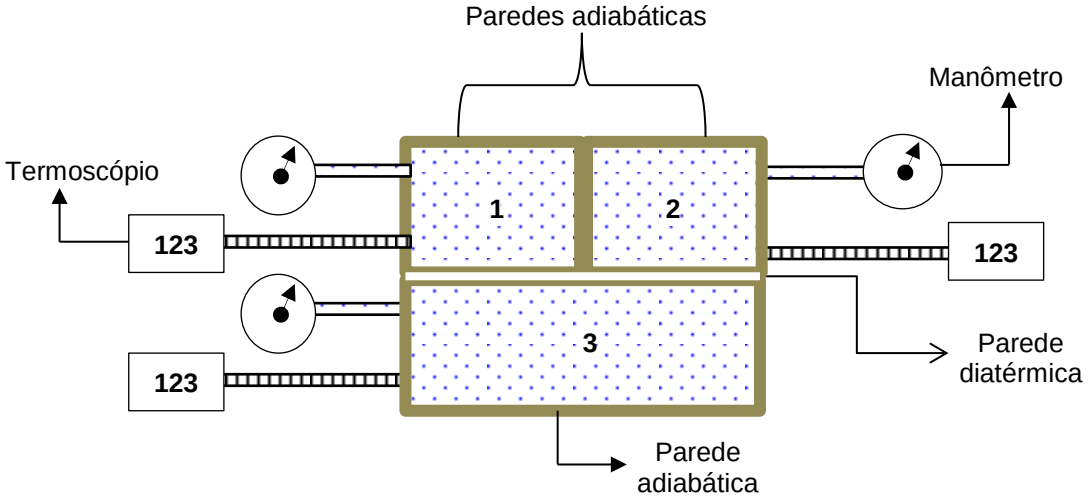
7.3 LEI ZERO DA TERMODINÂMICA – TEMPERATURA

Certas propriedades dos corpos sofrem mudanças consideráveis quando eles são aquecidos ou resfriados. Por exemplo, com o aquecimento, um líquido aumenta de volume, uma barra de metal fica um pouco mais comprida, a resistência elétrica de um fio aumenta e a pressão de um gás confinado aumenta. Qualquer dessas propriedades pode ser usada como base de um instrumento que poderá nos ajudar a compreender o conceito de temperatura.

Imaginemos uma experiência conduzida com três sistemas termodinâmicos. As características dos três sistemas são as seguintes: o gás contido dentro deles é um gás qualquer, as paredes dos recipientes são adiabáticas exceto uma que é

diatérmica, o volume é conhecido, a pressão dentro deles pode ser medida com um manômetro e um termoscópio é utilizado para marcar os números relativos quando o sistema é aquecido ou resfriado, utilizamos um termoscópio porque até o presente momento não conhecíamos a grandeza física que caracterizava esses números e esse instrumento não estava calibrado baseando-se nessa grandeza. Essa configuração pode ser vista na figura 1 a seguir.

Figura 1: Configuração dos três sistemas termodinâmicos em contato depois de algum tempo quando atingiram o equilíbrio térmico.



Fonte: Adaptado pela autora baseado em Oliveira (2005).

O sistema 1 e o sistema 2, cada um por seu lado interagem com o sistema 3. Se esperarmos um tempo suficiente, as variáveis termodinâmicas dos três sistemas atingirão novos valores de equilíbrio. Diremos que o sistema 1 e o sistema 3 por um lado, bem como o sistema 2 e o sistema 3 por outro lado estão em equilíbrio térmico. O sistema 1 está em equilíbrio térmico com o sistema 3 e, independentemente, o sistema 2 está em equilíbrio térmico com o sistema 3.

Se agora retirarmos o sistema 3 e colocarmos a parede diatérmica entre o sistema 1 e o sistema 2, e esperássemos algum tempo verificaríamos que os valores nos manômetros e nos termoscópio permaneceriam os mesmo. Isso nos leva a concluir que os sistemas 1 e 2 também estavam em equilíbrio entre eles.

Portanto podemos definir a Lei Zero da Termodinâmica da seguinte maneira de acordo com Lucie (1980), se dois sistemas termodinâmicos estão em equilíbrio térmico com um terceiro, eles estão também em equilíbrio térmico entre si.

Existe algo que caracteriza qualquer estado de equilíbrio de um sistema termodinâmico, e que se chama temperatura.

7.4 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA – CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Esta lei foi estabelecida por vários cientistas, mas principalmente por Mayer e Joule que admitiram que as diversas formas de trabalho poderiam ser convertidas umas nas outras, e que além disso, todas elas poderiam ser dissipadas na forma de calor.

Embora pareça bastante evidente que o trabalho se transforme em calor, por exemplo, por atrito, não se pode concluir que o trabalho dissipado produza sempre a mesma quantidade de calor. É necessário verificar experimentalmente tal lei, que se resume na determinação do equivalente mecânico do calor. Isso de fato foi feito por Mayer e de forma exaustiva por Joule por meio de inúmeras experiências. Admitindo, portanto, que uma determinada quantidade de trabalho sempre se transforme numa mesma quantidade de calor, eles estavam adotando a conservação da energia.

Do ponto de vista microscópico, o princípio da conservação da energia foi elaborado por Helmholtz. Supondo a constituição atômica da matéria, Helmholtz estendeu o teorema da conservação da energia mecânica ao movimento microscópico dos átomos. Ou seja, admitiu que a soma da energia cinética e da energia potencial dos átomos é constante e constitui, portanto, a energia interna de um corpo. Quando trabalho de qualquer forma se dissipa em calor, isso significa, do ponto de vista microscópico, que os átomos ganham energia. Portanto, de acordo com Helmholtz e outros cientistas que estabeleceram a teoria cinética da matéria, o calor esta associado ao movimento microscópico dos átomos.

Como consequências do primeiro princípio da termodinâmica, temos as transformações cíclicas. Uma transformação é dita cíclica se o estado final do sistema é idêntico ao estado inicial. Nesse caso, $\Delta U = 0$, e então:

$$(W + Q)_{ciclo} = 0 \qquad (1)$$

Em outros termos: no decorrer de uma transformação cíclica a energia mecânica trocada pelo sistema com o meio externo é igual à energia térmica trocada com esse meio, e de sinal contrário.

É perfeitamente concebível que um sistema termodinâmico forneça adiabaticamente energia mecânica ao meio externo. Mas neste caso não pode receber energia térmica, já que não ha interações diatérmicas. A energia fornecida pelo sistema ao meio externo é consequentemente paga por uma diminuição da sua energia interna. Como essa energia é necessariamente ilimitada (sendo impensável admitir que um sistema contenha uma quantidade infinita de energia), segue que a quantidade de energia que o sistema poderá fornecer adiabaticamente ao meio externo será também ilimitada. Em outros termos, uma máquina que produziria indefinidamente energia sem receber nada do meio externo é inconcebível: *a produção continua e grátis de energia é impossível.*

7.5 EQUAÇÕES DE ESTADO DOS GASES IDEAIS

Estudaremos os gases, pois estes apresentam o comportamento termodinâmico mais simples. Como já foi dito anteriormente um estado de equilíbrio termodinâmico fica caracterizado por qualquer par das três variáveis (P, V, T). Isto significa que a terceira é uma função das outras duas, ou seja, que existe uma relação funcional, chamada de equação de estado, que tem a forma:

$$f(P,V,T) = 0$$

Nas seções 7.5.1 até 7.5.4 iremos abordar as equações de estados de forma simples e sucinta baseando-se em um par das três variáveis.

7.5.1 Lei de Boyle-Mariotte

A lei de Boyle-Mariotte pode ser descrita de acordo com Nussenzveig (2002, p. 189), assim: “Numa transformação o volume de uma dada quantidade de gás, a temperatura constante, varia inversamente com a pressão”.

Esse enunciado defini as consequências do experimento realizado por Boyle em 1662. Neste experimento ele utilizou um tubo monométrico em formato de U, aberto numa extremidade à pressão atmosférica P_0 e fechado na outra, onde a coluna de mercúrio aprisiona um volume V de ar, a temperatura T era constante (temperatura ambiente) e uma quantidade fixa de gás aprisionado. A pressão P podia ser variada, despejando mais mercúrio no ramo aberto. O resultado foi que, nessas condições, o volume V era inversamente proporcional a P:

$$V = \frac{k}{P} \rightarrow \mathbf{P.\ V = \boldsymbol{k} = constante}$$

Onde:

V → é o volume do gás

P → é a pressão do gás

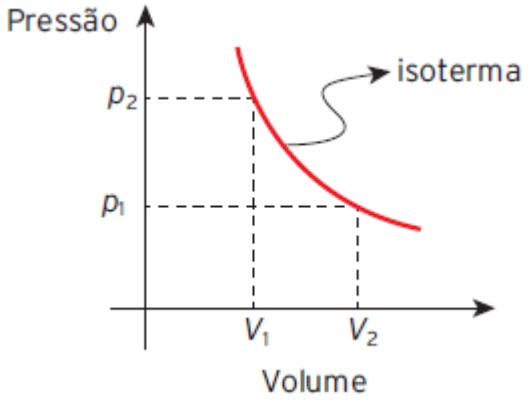
k → constante de Boltzmann neste caso dependente da temperatura e da quantidade de gás.

Desta forma, se uma amostra de gás passa do estado 1 para o estado 2 por um processo a temperatura constante, temos:

$$\mathbf{P_1 \,.\, V_1 = P_2 \,.\, V_2}$$

A transformação a temperatura constante é chamada isotérmica. A curva que representa essa transformação no plano PV é chamada isoterma (Fig. 2)

Figura 2: Diagrama P x V da relação entre a pressão e o volume a temperatura constante.



7.5.2 Lei de Gay-Lussac

Esta lei pode ser definida de acordo com Nusseinzveig (2002) do seguinte modo: “Quando numa transformação a pressão (P) de um gás é mantida constante, o volume (V) de uma dada amostra varia linearmente com a sua temperatura (T), ou seja, são diretamente proporcionais.” Deste modo podemos escrever a seguinte equação:

$$\frac{\mathbf{V}}{\mathbf{T}} = \mathbf{k}$$

Onde:

V → é o volume do gás

T → é a temperatura do gás

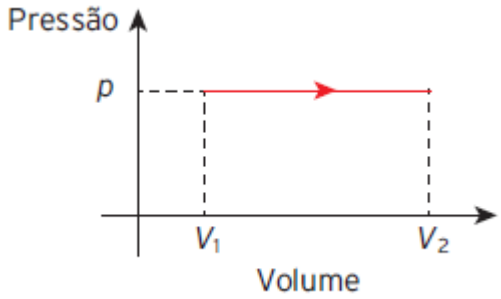
k → constante de Boltzmann neste caso dependente da pressão e da quantidade de gás.

Desta forma, se uma amostra de gás passa do estado 1 para o estado 2 por um processo a pressão constante, temos:

$$\frac{\mathbf{V_1}}{\mathbf{T_1}} = \frac{\mathbf{V_2}}{\mathbf{T_2}}$$

A transformação a pressão constante é chamada isobárica. A curva que representa essa transformação no plano PV é chamada isóbara (Fig.3).

Figura 3: Diagrama P x V da relação entre a pressão e o volume a temperatura constante.



7.5.3 Lei de Charles

Jacques Charles observou experimentalmente que todos os gases têm aproximadamente o mesmo coeficiente de dilatação volumétrica $\gamma \approx \frac{1}{273,15}°C^{-1}$. Após este experimento, obteve a seguinte conclusão de acordo com Nusseinzveig (2002, p. 189): “a volume constante, a pressão de um gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta”. Deste enunciado podemos obter a seguinte equação:

$$\frac{\mathbf{P}}{\mathbf{T}} = \mathbf{k}$$

Onde:

V → é o volume do gás

T → é a temperatura do gás

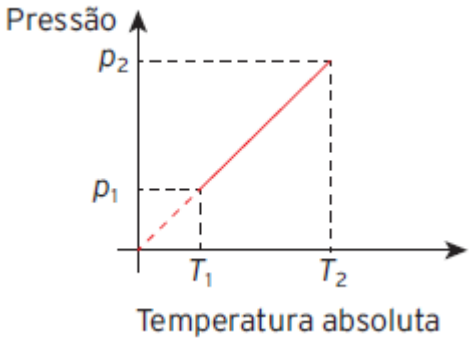
k → constante de Boltzmann neste caso dependente do volume e da quantidade de gás.

Desta forma, se uma amostra de gás passa do estado 1 para o estado 2 por um processo a volume constante, temos:

$$\frac{\mathbf{P_1}}{\mathbf{T_1}} = \frac{\mathbf{P_2}}{\mathbf{T_2}}$$

A transformação a volume constante é chamada isovolumétrica, isométrica ou isocórica. A pressão varia em função da temperatura, diagrama P x T. (Fig.4).

Figura 4: Diagrama P x T da relação entre a pressão e a temperatura com o volume mantido constante.



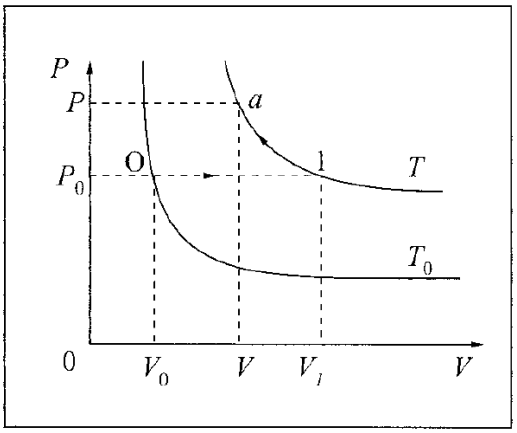
7.5.4 Lei dos gases ideais

Um gás ideal confinado num recipiente pode sofrer variação de pressão, volume e temperatura, mantendo-se sua massa e número de mols. Podemos obter a equação de estado de um gás ideal combinando a Lei de Boyle-Mariotte com a Lei de Charlles, como podemos perceber pela descrição feita em Nusseinzveig (2002, p 190 e p. 191):

> A Fig. 5 mostra as isotermas associadas à lei de Boyle no plano (P, V), para uma dada massa de gás. Queremos passar do ponto O ao ponto a do plano. Para isto, podemos passar primeiro do ponto O (P_0, V_0, T_0) ao ponto I (P_0, V_1, T), a pressão P_0 constante, e depois de I até a, a temperatura

constante. Podemos obter as equações primeiramente pela lei de Charles e depois pela lei de Boyle, os resultados combinados se tornam a equação geral dos gases.

Figura 5: Diagrama mostrando as isotermas associadas a lei de Boyle-Mariotte.



Fonte: Nusseinzveig, 2002, p. 190.

Dessa forma, podemos escrever:

$$\frac{\mathbf{P\,.\,V}}{\mathbf{T}} = \frac{\mathbf{P_0.\,P_0}}{\mathbf{T_0}} = \boldsymbol{constante}$$

Como o volume é proporcional à quantidade de gás, uma massa de *n* moles, mas mesmas condições, ocupa um volume *n* vezes maior, o que dá, finalmente:

$$\mathbf{P\,.\,V = n\,.\;R\,.\,T}$$

Esta é a equação de estado dos gases ideais, também conhecida como lei dos gases perfeitos.

Embora nenhum gás real obedeça exatamente a esta equação de estado, ela é uma boa aproximação para a maioria dos gases, tanto melhor quanto mais rarefeito o gás e mais longe estiver de seu ponto de liquefação.

7.6 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA – ENTROPIA

Historicamente, a segunda lei ou princípio da termodinâmica foi enunciado de várias maneiras, com um verbalismo diferente de um enunciado para outro, ao longo dos anos. No entanto podemos verificar que todos eles podem deduzir-se do enunciado seguinte:

Um sistema isolado, que sofrer uma evolução, não pode mais voltar ao seu estado inicial.

Veremos a seguir o enunciado de Clausius e o enunciado de Kelvin, de acordo como Nusseinzveig (2002) apresenta.

7.6.1 Enunciado de Clausius

> Nenhum processo é possível cujo único resultado seja a transferência de calor de um corpo frio para um mais quente. Em outros termos, é impossível construir uma máquina que opere ciclicamente, sem consumo de trabalho. (Nusseinzveig, 2002, p. 207)

Consideremos como sistema isolado, no sentido do segundo princípio, o conjunto da máquina, do corpo quente e do corpo frio.

Pelo enunciado de Clausius, a máquina descreve um ciclo. Ela volta, pois, no final do ciclo, ao seu estado inicial. Nenhuma quantidade de energia mecânica foi produzida ou recebida pela máquina durante o ciclo, já que a única modificação do "universo" contido no recinto adiabático e a passagem de Q unidades de energia térmica do corpo frio ao corpo quente.

Suponhamos então a sequência seguinte de operações:

- No recinto adiabático, o corpo quente está inicialmente a temperatura T_1 e o corpo frio a temperatura T_2, estando ambos em contato diatérmico. A quantidade de energia-calor Q passa do corpo quente ao corpo frio. O sistema isolado sofreu uma evolução, no sentido do segundo princípio, e sabemos por experiência que essa evolução e possível, e natural. A máquina entra então a funcionar (podemos imaginar um dispositivo que provoca o início do funcionamento da máquina assim que as temperaturas dos dois corpos diferem de determinado valor). A máquina opera um ciclo, volta a seu estado inicial, e durante o ciclo, a mesma quantidade de energia térmica Q passaria do corpo frio para o corpo quente. Tudo teria voltado ao estado inicial (máquina, corpo quente e corpo frio) depois de ter sofrido uma evolução. O segundo princípio proíbe essa evolução inversa.

7.6.2 Enunciado de Kelvin

> Nenhum processo é possível cujo único resultado seja a conversão de calor, extraído de um reservatório térmico, em uma quantidade equivalente de trabalho. Em outros termos, é impossível construir uma máquina que converta todo calor recebido em trabalho. (Nusseinzveig, 2002, p. 207)

O sistema isolado poderia ser constituído, por exemplo:

1) Por um bloco amarrado na extremidade de uma mola, e que pode oscilar com atrito sobre um piano horizontal. Esse piano e uma parede diatérmica através da qual o bloco pode interagir diatermicamente com uma fonte térmica;
2) Essa fonte térmica;
3) A máquina do enunciado de Kelvin.

No início da experiência, a mola esta comprimida. O bloco desliza com atrito sobre a parede diatérmica que o separa da fonte, e acaba parando. A energia potencial (energia mecânica) inicialmente contida na mola foi inteiramente transferida à fonte térmica, sendo contabilizada por meio do calor. Essa evolução é perfeitamente possível. É uma evolução natural. Nesse momento a máquina entra em funcionamento e no decorrer de um ciclo retira da mesma fonte a mesma quantidade de energia, que ela transferia ao sistema mola-bloco, comprimindo a mola e levando-a ao seu estado inicial. No final todas as partes do sistema contido no recinto adiabático voltaram ao seu estado inicial. Isto é proibido pelo segundo princípio.

A segunda lei da termodinâmica deve ser entendida como consistindo de três partes. A primeira delas nos leva as definições de temperatura absoluta e de entropia. Combinada com o princípio da conservação da energia, ela nos permite construir o espaço termodinâmico e introduzir a relação fundamental de sistemas em equilíbrio. A segunda parte consiste na forma postulada por Gibbs para o princípio da máxima entropia. Ela nos conduz a propriedade de convexidade da entropia e as condições de estabilidade dos sistemas termodinâmicos em equilíbrio. Essas duas partes referem-se apenas a estados de equilíbrio e são representadas pelo princípio de Carnot e pelo princípio de Clausius-Gibbs, respectivamente. Esse dois princípios constituem conjuntamente a segunda lei da termodinâmica para sistemas em equilíbrio.

A terceira parte da segunda lei da termodinâmica refere-se à evolução temporal dos sistemas termodinâmicos e diz respeito ao crescimento da entropia em processos irreversíveis e espontâneos. Ela corresponde, portanto ao aspecto dinâmico do princípio da máxima entropia. Ressaltamos, entretanto, que esse aspecto não é utilizado de forma explícita, já que tratamos apenas de sistemas em equilíbrio termodinâmico. Em contraste, o aspecto estático do princípio da máxima entropia é utilizada de forma explícita na forma dada pelo princípio de Clausius-Gibbs. Quando os estados inicial e final de um processo irreversível forem constituídos por estados de equilíbrio existe uma relação estreita entre os dois aspectos.

7.6.3 Entropia

A segunda lei da termodinâmica foi enunciada na forma de uma impossibilidade de se conseguir uma máquina perfeita. Nesse aspecto, ela difere bastante das outras leis da Física: ela não foi formulada em termos de uma equação ou de relação quantitativa. Entretanto, ela pode adquirir essa característica quantitativa através do conceito de entropia. A lei zero se refere a um parâmetro denominado temperatura; a primeira lei define uma variável de estado – a energia interna do sistema. A segunda lei introduz uma nova variável de estado, que Clausius chamou de entropia.

A definição de temperatura nos permite determinar a temperatura de um gás para quaisquer valores da pressão (P) e do volume (V) do gás. Assim, a cada ponto do diagrama de Clapeyron está associada uma temperatura. Os pontos que possuem a mesma temperatura constituem uma isoterma. As isotermas formam um conjunto de curvas que nunca se cruzam, como pode ser visto na figura 6.

Podemos traçar também, sobre o mesmo diagrama de Clapeyron, curvas adiabáticas correspondentes ao mesmo gás. Para construir uma adiabática, confinamos o gás num recipiente cilíndrico de paredes adiabáticas e elevamos lentamente o tampo do cilindro, medindo ao mesmo tempo o volume e a pressão. Repetindo esse procedimento várias vezes, obtemos diversas adiabáticas. As adiabáticas formam um conjunto de curvas que também não se cruzam, como pode ser visto na figura 6.

Assim como existe uma grandeza termodinâmica associada às isotermas, que é a temperatura, já definida, associamos também as adiabáticas uma grandeza termodinâmica. Essa grandeza deve ser invariante ao longo de uma adiabática, mas isso não é suficiente para estabelecer seu valor para cada adiabática. Para definir essa grandeza, denominada entropia, procedemos como segue.

Considere duas adiabáticas quaisquer construídas da maneira apresentada acima. Considere um ponto A sobre a primeira adiabática e um ponto B sobre a segunda adiabática tal que A e B estejam numa mesma isoterma, correspondente a uma temperatura T_1, como mostrado na figura 6. Sendo S_A a entropia da primeira adiabática, então a entropia da segunda adiabática será definida por:

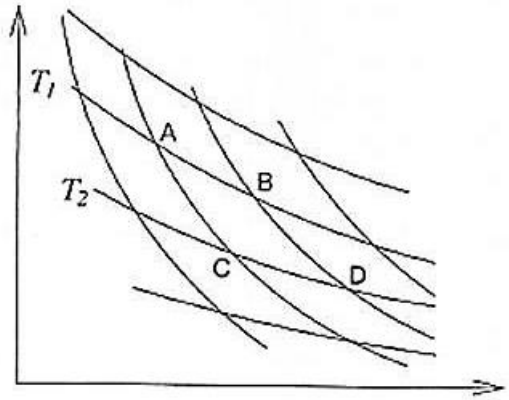
$$S_B = S_A + \frac{Q_1}{T_1} \qquad (2)$$

Onde:

Q_1 é a quantidade de calor recebido pelo sistema de A a B ao longo da isoterma T_1.

Suponha que outro par de pontos C e D sejam escolhidos sobre as duas adiabáticas, C sobre a primeira adiabática e D sobre a segunda, mas que estejam sobre outra isoterma, correspondente a temperatura T_2, como mostrado na figura 6.

Figura 6: Conjunto de isotermas e adiabáticas no diagrama de Clapeyron. As curvas AB e CD são isotermas correspondentes as temperaturas $\boldsymbol{T_1}$ e $\boldsymbol{T_2}$, respectivamente. As curvas AC e BD são adiabáticas.



Fonte: Oliveira, 2005.

Pela mesma definição devemos ter também:

$$\boldsymbol{S_D = S_C + \frac{Q_2}{T_2}} \qquad (3)$$

Onde:

$\boldsymbol{Q_2}$ é a quantidade de calor recebido pelo sistema de C a D ao longo da isoterma $\boldsymbol{T_2}$.

A primeira vista, as expressões (2) e (3) parecem ser inconsistentes. Mas, pelo princípio de Carnot $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$ de modo que (2) e (3) são de fato compatíveis e a entropia da segunda adiabática se torna independente da escolha das isotermas. Assim, tomando uma adiabática como referencia para a entropia, todas as outras adiabáticas estarão associadas a um valor bem definido da entropia. A cada ponto do diagrama de Clapeyron está associado um determinado valor da entropia. Como as adiabáticas ligam pontos com o mesmo valor da entropia, elas são também denominadas isentrópicas. Os processos quase estáticos adiabáticos podem equivalentemente ser chamados de processos isentrópicos.

7.7 APLICAÇÕES DA TERMODINÂMICA

Citaremos aqui neste tópico algumas aplicações da termodinâmica na ciência dos materiais, nas indústrias e na arquitetura.

7.7.1 Ciência dos materiais

Estuda os meios para obtenção de novos tipos de materiais, que possuam propriedades químicas e físicas bem definidas. A termodinâmica, podemos assim dizer, é uma das bases da engenharia dos materiais, pois os processos de fabricação de novos materiais envolvem bastante a transferência de calor e trabalho para as matérias primas.

Por exemplo, uma peça cerâmica necessita passar por um processo de cozimento com temperaturas muito elevadas, que chegam a ser superiores a 1.000°C. Suas propriedades físicas finais dependerão do tempo e da temperatura aos quais ela foi submetida.

Para cada situação prática sempre existe um tipo de material mais adequado: a utilização de ligas de alumínio com titânio permitiu a construção de aviões maiores, mais leves e resistentes; os automóveis modernos usam, em grande

parte, materiais plásticos e ligas especiais; os médicos cirurgiões fazem uso de bisturis com lâmina especial muito afiada e bastante resistente etc.

7.7.2 Nas indústrias

Os processos industriais transformam matéria-prima em produtos acabados usando máquinas e energia. Na indústria de laticínios, a transferência de calor é usada na pasteurização e na fabricação de queijos e manteiga. Nas siderúrgicas, as altas temperaturas dos fornos causam a fusão de várias substâncias, permitindo a sua combinação e produzindo diferentes tipos de aço. A vulcanização da borracha.

7.7.3 Arquitetura

O desenho e a construção de habitações devem sempre levar em consideração os aspectos de troca de energia. O nosso organismo só pode sobreviver em uma pequena faixa de temperatura onde nosso metabolismo é mais eficiente, por isso nos sentimos melhor quando a temperatura do meio ambiente está em torno dos 20°C.

Os projetos urbanos e residenciais levam em consideração esses limites, mas devem considerar também o bom aproveitamento dos recursos naturais. Um exemplo é o uso da energia solar para substituir aquecedores de água que funcionam com energia elétrica ou com queima de combustível.

CAPÍTULO 8. METODOLOGIA DA PESQUISA

8.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A temática Termodinâmica é um conteúdo que já se estabilizou no currículo de Física do Ensino Médio e por isso apresenta-se em várias pesquisas e artigos científicos. Apesar disso, a dificuldade em ensiná-la é muito grande. Partindo dessa constatação e inquietude, surgiu a necessidade de desenvolver uma pesquisa que pudesse contribuir para tentar sanar tal dificuldade.

Assim, foi elaborada uma sequência didática sobre as Leis Termodinâmicas que introduz os principais conceitos dessa área que acreditamos estar ao alcance dos alunos de ensino médio.

Para auxiliar a análise do material da revisão bibliográfica, buscou-se na literatura uma metodologia que se enquadrasse da melhor maneira possível ao desenvolvimento do trabalho e à ferramenta de análise – foi a Transposição Didática proposta por Chevallard (1991) e a teoria da aprendizagem utilizada como fundamentação para a elaboração da sequência didática foi a teoria sócio-histórica de Vygotsky.

8.2 A METODOLOGIA DE PESQUISA

Neste trabalho, são utilizados elementos da investigação qualitativa, de modo a nos fornecer dados para analisar o processo no qual o saber (conhecimento) se estabelece em sala de aula, ou seja, vamos buscar dados em um ambiente que já conhecemos (a sala de aula), focando na estrutura dos conteúdos escolares produzidos (sequência didática).

Como já dito anteriormente, desenvolvemos uma sequência didática sobre Termodinâmica e aplicamo-la numa sala de aula de uma escola pública da rede estadual do interior do Amazonas, buscando assim o ambiente real da sala de aula para obter dados significativos possíveis.

Para esta pesquisa optamos por realizar um estudo de caso qualitativo, que consistirá no levantamento de informações e estudo a respeito da dificuldade de associação e conceituação científicas de termos necessários para a compreensão das leis Termodinâmicas, tais como calor, temperatura, trabalho, pressão e volume, com as máquinas térmicas do dia-a-dia.

O método de abordagem empregado será o método dialético, pois tentamos seguir as quatro leis fundamentais proposta por Lakatos (2003, p.100), que são:

> a) ação recíproca, unidade polar ou "tudo se relaciona";
> b) mudança dialética, negação da negação ou "tudo se transforma";
> c) passagem da quantidade à qualidade ou mudança qualitativa;
> d) interpenetração dos contrários, contradição ou luta dos contrários.

Na questão sobre a ação recíproca, tentaremos abordar o aspecto histórico envolvido para a elaboração das Leis Termodinâmicas, focando as máquinas térmicas, pois Lakatos (2003, p. 102) afirma que

> "[...] todos os aspectos da realidade (da natureza ou da sociedade) prendem-se por laços necessários e recíprocos. Essa lei leva à necessidade de avaliar uma situação, um acontecimento, uma tarefa, uma coisa, do ponto de vista das condições que os determinam e, assim, os explicam."

A mudança dialética que esperamos ocorrer será quando estudarmos os conceitos de pressão e volume através de experimentos com balões, mangueiras de plástico e seringa, pois os resultados contradizem algumas "verdades" que os alunos trazem consigo, do que realmente aconteceria. Deste modo eles negariam conceitos definidos por eles e assim quando o fizessem estariam corroborando para o processo dialético de mudança, como pressupõe Lakatos (2003, p. 102).

> Como lei do pensamento, assume a seguinte forma: o ponto de partida é a *tese,* proposição positiva; essa proposição se nega ou se transforma em sua contrária - a proposição que nega a primeira é a *antítese* e constitui a segunda fase do processo; quando a segunda proposição, antítese, é, por sua vez, negada, obtém-se a terceira proposição ou *síntese,* que é a negação da tese e antítese, mas por intermédio de uma proposição positiva superior - a obtida por meio de dupla negação.

A terceira e quartas leis da abordagem dialética serão obtida quando as mudanças de quantidade necessárias ocorram para que se produza dada mudança de qualidade. Segundo Stalin (In: Politzer et al., s.d.:58), é o processo de crescimento, em que as mudanças quantitativas não chegam a se tomar mudanças qualitativas, mas como um desenvolvimento que passa, das mudanças quantitativas insignificantes e latentes, para as mudanças aparentes e radicais, as mudanças qualitativas. Resultando da acumulação de mudanças quantitativas insensíveis e graduais.

Nesse aspecto, almejamos encontrá-las por meio das respostas as questões propostas dissertativas durante o desenvolvimento da sequência didática e

através da identificação dos conceitos de pressão e volume na máquina térmica (Motor Stirling) em estudo, para que possam elaborar o diagrama P-V do ciclo Stirling, compará-lo aos ciclos termodinâmicos mais conhecidos como o Ciclo de Carnot, o Ciclo Diesel e o Ciclo Otto e, futuramente, associá-los ao consumo de combustível de cada ciclo das máquinas térmicas reais, tais como carros e motos.

Para o método de procedimento, utilizaremos a pesquisa de campo que, de acordo com Ruiz (1991), consiste na observação dos fatos tal como ocorrem espontaneamente na coleta de dados e no registro de variáveis presumivelmente relevantes para ulteriores análises. Um estudo de caso busca compreender a dinâmica dos processos constitutivos, envolvendo um diálogo do pesquisador com a realidade estudada. Ainda segundo este autor, as etapas que compõem a pesquisa de campo são: pesquisa bibliográfica, determinação de técnicas de coleta, registro e análise dos dados, e estas serão utilizadas durante esta pesquisa. E para uma melhor compreensão definiremos segundo alguns autores estas etapas.

Por pesquisa bibliográfica entende-se um apanhado geral sobre os principais trabalhos realizados, capazes de fornecer dados atuais e relevantes relacionados ao tema (Ruiz, 1991). Nesta pesquisa, serão consultados os livros didáticos aprovados no PNLD - 2012, tais como: Gaspar (2010), Máximo e Alvarenga (2010), Sant'Anna et al (2010), Torres, Ferrero e Soares (2010), Biscuola, Villas Bôas e Doca (2010), Barreto Filho e Silva (2010), Gonçalves Filho e Toscano (2010), Pietrocola et al (2010), Fuke e Yamamoto (2010) e Kantor et al (2010), que nos ajudará a compreender como este tema está abordado nestes livros e quais as sugestões de trabalhos propostas por estes autores.

Após a pesquisa bibliográfica, segue a coleta de dados, que deve ser constantemente relacionada aos objetivos previamente estabelecidos, pois conforme Cervo (apud LAKATOS; MARCONI, 2007) "os objetivos podem definir o material a coletar, o tipo de problema e a natureza do trabalho". Para a coleta de dados serão utilizadas três técnicas: questionários (pré-teste e pós-teste), gravações das aulas (áudio e vídeo), análise da produção dos alunos.

Após a coleta de dados Lakatos e Marconi (2007) sugerem a classificação dos mesmos de forma sistemática através de seleção (exame minucioso dos dados), codificação (técnica operacional de categorização) e tabulação (disposição dos dados de forma a verificar as inter-relações).

8.2.1 A tomada de dados

Um aspecto importante da pesquisa qualitativa é a tomada de dados, pois esses não são meramente dados colhidos para uma análise estatística (pesquisa quantitativa) e sim observações (inferências) sobre um objeto complexo, que se modifica constantemente. Isso faz com que a análise dos dados seja feita levando em consideração fatores sociais, econômicos, históricos, entre outros. Ou seja, na análise deve-se levar em conta como os dados foram tomados. Devemos ainda considerar a nossa interferência no processo. Mesmo tentando ser imparcial na coleta e análise dos dados, sempre iremos interferir no ambiente. Desta forma, buscaremos várias fontes de dados para chegarmos às conclusões mais fiéis possíveis.

A tomada de dados foi feita de diversas maneiras, para que assim, pudéssemos obter dados suficientes para análise. As três fontes utilizadas foram: gravações das aulas (áudio e vídeo), análise de produção dos alunos e o pré-teste e pós-teste.

A gravação das aulas: observações

A primeira fonte da coleta de dados foi a gravação das aulas. Essas gravações foram feitas em áudio e vídeo. As falas dos alunos durante as aulas foram o foco de nossa análise, principalmente, no desenrolar das atividades e na exposição dos problemas.

Esse tipo de coleta de dados foi feito visando captar as imagens dos alunos que estavam em contato com o material produzido na sequência didática, as atividades e o próprio conteúdo apresentado durante as aulas, buscando desta forma, captar as impressões deles nas discussões, o levantamento de hipóteses nas atividades e a estranheza que alguns conceitos poderiam gerar nesses jovens. Assim, pudemos elaborar melhor as conclusões sobre a aplicação da sequência didática, fazendo, quando possível, uma triangulação de dados. Desta forma, acreditamos que as conclusões possam ser mais fiéis ao que ocorreu de fato no ambiente escolar.

As gravações foram feitas no laboratório de ciências e na própria sala de aula, onde ocorriam as aulas. Nesse local, a câmera permanecia no canto da sala (ao lado da lousa, oposta à porta de entrada), procurando captar todos os alunos.

O Pré-teste e Pós-teste (Questionário)

Outra fonte de dados é o questionário, uma vez que este pode oferecer a visão do aluno sobre a melhora em seus conceitos durante o desenvolvimento das aulas.

Como o nosso objetivo era verificar se a sequência didática proposta realmente seria responsável pela forma como os alunos aprendiam os conceitos inerentes as Leis Termodinâmicas, focamos o questionário em perguntas relacionadas aos textos, aos experimentos, aos exercícios e a todo tipo de material utilizado na elaboração e aplicação dessa sequência.

Além disso, acreditamos que o questionário possa ser um momento em que o aluno estará mais livre para descrever as suas reais impressões sobre a sequência didática, já que os questionários são anônimos, ou seja, não foi necessária a identificação nominal do aluno, apenas para caráter de comparação sobre a evolução dos conceitos físicos, necessitamos identificar os alunos por números que foram distribuídos aleatoriamente e letras que representavam a turma na qual pertenciam.

Análise dos documentos

Primeiramente, entendemos como documentos *"quaisquer materiais escritos que possam ser usados como fonte de informação sobre o comportamento humano."* (Phillips, 1974, p.187, apud Lüdke & André, 1986, p.38). Desta forma, foram analisadas todas as atividades escritas, todas as questões que foram respondidas e as avaliações feitas pelos alunos.

O objetivo dessa coleta foi tentar resgatar as conclusões tiradas pelos alunos nas diversas discussões e também, as hipóteses levantadas por eles na resolução das atividades, mostrando a maneira que ele está pensando e estruturando os diversos conceitos discutidos.

8.2.2 O local de aplicação

A sequência didática proposta foi aplicada em três turmas de segunda série do Ensino Médio do turno vespertino da Escola Estadual Deputado Armando de Souza Mendes, na cidade de Tefé, no interior do estado do Amazonas.

Esta escola é a maior, tratando-se da estrutura física, possuindo 28 salas de aula funcionando no diurno (matutino e vespertino) e 10 salas de aulas funcionando no turno noturno. A arquitetura da escola não é das melhores, pois seu designer a faz parecer com uma espécie de presídio, uma vez que é um ambiente muito fechado e repleto de grades.

Por outro lado, o laboratório de ciências disponível na escola é muito bom, diferente do que é comum encontrarmos em outras escolas. O motivo pelo qual encontra-se bem equipado é o fato de ter recebido o projeto “Espaço do Conhecimento” que é desenvolvido pelo governo federal em parceria com a Petrobrás, com isto ganhou vários equipamentos e materiais excelentes e simples para a realização de experimentos. Estes experimentos que estão disponibilizados no laboratório são baseados na Experimentoteca da Universidade de São Paulo.

Está situada no bairro de Jerusalém, com localização privilegiada, pois se encontra ao lado esquerdo com a Universidade do Estado do Amazonas – UEA e lado direito com o SENAC, esta vizinhança faz com que os alunos tenham anseio de seguir adiante com seus estudos, pois por estarem tão perto sentem vontade de conhecer e futuramente estudar na universidade.

O quadro de professores possui uma boa qualificação, pois todos são licenciados em sua área de atuação e possuem no mínimo especialização, e alguns tem mestrado e outros doutorado.

8.2.3 As características das turmas

Para facilitar nossa análise as turmas foram classificadas em A, B e C, essa classificação não corresponde ao nome real das turmas como são representadas na escola. O número de alunos que se encontravam efetivamente matriculados (nomes presentes no diário de classe) foi diferente dos alunos que estavam realmente estudando. Na turma A, matriculados eram 27 alunos e estudavam 25; na turma B, estavam matriculados 28 e estudavam 23 e na turma C, matriculados eram 31 alunos e estudando 22 alunos.

Também foi feito a análise de acordo com a faixa etária e com a média do coeficiente de rendimento na disciplina de física da primeira série do ensino médio e do 1º bimestre da segunda série do ensino médio de acordo com o SIGEAM – Sistema de Gestão das Escolas do Amazonas. Nessa escola, as turmas eram

divididas de acordo com a faixa etária. É importante frisar que esse coeficiente pôde ser utilizado, pois em sua grande maioria os alunos da 1ª série do ensino médio permaneceram na escola e na mesma turma quando foram para a 2ª série.

A turma A (38 alunos) era considerada pelos professores da escola que a ministravam aula como excelente, os alunos eram esforçados, tinham faixa etária entre 15 e 16 anos e seu coeficiente era de 8,23.

A turma B (37 alunos) tinha um comportamento e aprendizagens medianas de acordo com a avaliação de seus professores, faixa etária entre 15 e 18 anos e coeficiente de 7,31.

A turma C (35 alunos) era a mais complicada de se ministrar aulas segundo a maioria de seus professores, pois seus alunos eram indisciplinados, com dificuldade de concentração e com rendimento escolar baixo, sua faixa etária estava entre 17 e 22 anos e coeficiente de 6,62.

A seguir, no quadro 2 podemos fazer a comparação entre o coeficiente de rendimento, a faixa etária e a quantidade de alunos em cada turma.

Quadro 2: Resumo das características dos alunos que participaram da implementação da sequência didática proposta.

	COEFICIENTE DE RENDIMENTO	FAIXA ETÁRIA	QUANTIDADE DE ALUNOS
TURMA A	**-8,23**	**- 15 e 16 anos**	**-38 alunos**
TURMA B	**-7,31**	**-15 a 18 anos**	**-37 alunos**
TURMA C	**-6,62**	**-17 a 22 anos**	**-35 alunos**

A condição socioeconômica dos discentes das três turmas era quase homogênea, pois a grande maioria pertencia à classe média-baixa.

Encontramos uma grande facilidade em aplicar a sequência didática proposta por parte dos alunos, talvez porque a pesquisadora em questão era a mesma professora de física deles, e, portanto, eles já conheciam sua forma de trabalho. Os alunos somente estranharam um pouco a forma como os exercícios e questões eram tratados, pois não havia uma resposta direta. Eles precisavam ler e interpretar para depois responder. Isso fez com que eles pensassem e discutissem

mais entre si sobre o assunto, já que as atividades e os textos eram estudados sempre em grupo.

8.3 A FIGURA DO PROFESSOR

O professor muitas vezes é considerado o grande “vilão” pelo baixo rendimento escolar dos alunos principalmente na disciplina de Física. Seus colegas de trabalho (outros professores), a gestão da escola e o(a) pedagogo(a) e os alunos, na maioria das vezes ,o julgam como desinteressados e como um profissional que está ali em sala de aula para dificultar a vida dos alunos.

A proposta pedagógica apresentada descentraliza mais o papel do professor, tornando-o apenas como um facilitador do conhecimento e não aquele “ser” que detém todo o conhecimento existente. Propõe que os alunos para adquirir conhecimento devem ir a busca dele e devem interagir entre si e com o professor para poder internalizá-lo.

As atividades que foram desenvolvidas foram elaboradas na perspectiva da teoria sócio-histórica de Vygotsky e por este motivo os alunos interagiam bastante entre eles, compartilhando seus signos e os dando novos significados. Com isso pretende-se que os alunos percebam a importância desta interação e da grande possibilidade que a troca de conhecimentos tem, levando-os a desmitificarem o papel do professor.

CAPÍTULO 9. SEQUÊNCIA DE ENSINO APREDIZAGEM PROPOSTA

Neste capítulo, discorreremos sobre o produto desta dissertação, que é um guia de orientação para o professor, que surgiu a partir da aplicação de uma sequência didática sobre como utilizar máquinas térmicas para ensinar as leis Termodinâmicas.

9.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

9.1.1 Conceito

O termo sequência didática é utilizado para definir procedimentos organizados em etapas que serão executadas pelos alunos, que estão ligadas entre si, com a finalidade de ensinar um determinado objeto de estudo. Esta deve possibilitar ao professor, que tentar reproduzi-la, conseguir aplicá-la sem haver a necessidade de inserções, pois ela foi planejada com começo, meio e fim, incluindo a avaliação de aprendizagem necessária.

Na sequência didática que propomos, pensamos no papel do professor e no papel dos alunos em todo o processo ensino-aprendizagem.

9.1.2 Estrutura

Essa sequência didática foi prevista para ser implementada em 15 aulas de 46 minutos cada, pois no colégio onde foi implantada esses eram os minutos correspondentes a um tempo de aula. Foi estruturada em 6 Unidades. A primeira (uma aula) sobre as concepções prévias dos estudantes sobre temperatura, calor, trabalho, energia, pressão, volume, máquina térmica e reversibilidade. A segunda (três aulas) abordava o contexto histórico do desenvolvimento das máquinas térmicas. O terceiro (duas aulas) conceitos e definições sobre os temas: temperatura e calor (revisão), pressão e volume. A quarta (seis aulas) com os ciclos e processos termodinâmicos. A quinta (três aulas) sobre a primeira e segunda leis termodinâmicas. E a última unidade (uma aula) de avaliação sobre os conceitos de temperatura, calor, trabalho, energia, pressão, volume, máquina térmica, reversibilidade, ciclos e processos termodinâmicos e 1ª e 2ª leis termodinâmicas.

9.1.3 Atividades

Para facilitar o acompanhamento de todas as etapas planejadas para a sequência didática, elaboramos o quadro 3 a seguir que evidencia a aula correspondente, o conteúdo que se pretende que os alunos assimilem ou revisem, os objetivos da aula, a metodologia, as atividades do docente, as atividades dos discentes, a avaliação e os recursos utilizados.

Quadro 3: Resumo das atividades propostas para o(a) docente e para os alunos.

AULAS	ATIVIDADES DOCENTE	ATIVIDADES DISCENTES	RECURSOS
1	- Aplicar o pré-teste sobre temperatura, calor, trabalho, energia, pressão, volume, máquina térmica e reversibilidade.	- Responder ao pré-teste (Apêndice A, p. 7).	- Pré-teste.
2, 3, 4 e 5	- Apresentar um texto sobre o contexto histórico do desenvolvimento das Máquinas Térmicas (Apêndice B – I, p. 11); - Dividir a sala em grupos para a confecção e posterior explanação da linha do tempo (Apêndice B - II, p. 18). - Pesquisar e imprimir as imagens para a linha do tempo (Apêndice B - III, p. 20). - Indagar os conceitos físicos por trás dos inventos.	- Leitura e discursão do texto elaborado pela docente. - Relacionar as imagens recebidas com o texto, as ordenando para posterior construção da linha do tempo. - Confeccionar a linha do tempo com papel madeira. - Expor e associar o aspecto histórico com a teoria dos inventos e inventores durante a elaboração da linha do tempo.	- Linha do tempo;
6	- Aplicar os roteiros dos experimentos (Apêndice C – I e II, p. 45 à 47).; - Orientar os alunos durante	- Realizar os experimentos. - Responder as questões dos roteiros dos	- Experi-mentos sobre pressão e

	a realização dos experimentos.	experimentos;	volume.
7, 8 e 9	- Apresentar os ciclos e processos termodinâmicos através de aula expositivo-dialogada (Apêndice D - I, p. 50).	- Elaborar música (paródias) sobre os ciclos e processos termodinâmicos e gravá-las em vídeo ou áudio e apresenta-las aos colegas de classe.	- Aula expositiva; -Elaboração de paródias.
10 e 11	- Construir o protótipo do Motor Stirling didático (Apêndice H, final do guia, p. 107). - Aplicar o roteiro do experimento do Motor Stirling (Apêndice E – I, p. 70). - Dividir os alunos em grupos para realização do experimento.	- Realizar o experimento do motor Stirling; - Responder as atividades presentes no roteiro (Apêndice E – I, p. 70).	- Experi-mento do motor Stirling.
12 e 13	- Analisar os gráficos obtidos; - Mediar às apresentações dos diagramas pelos discentes.	- Apresentar os diagramas obtidos em sala de aula.	- Exposição e análise dos diagramas obtidos.
14 15 e 16	- Organizar os exercícios que serão desenvolvidos em sala e pelos alunos.	- Resolver os exercícios propostos (Apêndice F – II, p. 87).	- Resolução de exercícios.
17	- Elaborar o pós-teste (Apêndice G – II, p. 103).	- Responder ao pós-teste.	- Pós-teste.

Observação: as páginas que aparecem dentro do quadro 3, referem-se a paginação do Guia de Orientação do Professor que encontra-se no apêndice.

9.2 ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A escolha do tema Máquinas Térmicas para o ensino das Leis Termodinâmicas teve como motivação a curiosidade da pesquisadora em conhecer

melhor e saber explicar fisicamente as máquinas térmicas que estão ao seu redor. Além desta curiosidade, com a análise dos livros didáticos do PNLD – 2012, percebemos que a metade dos autores dos livros didáticos apresentaram como sugestão a construção de máquinas térmicas para fixação da Termodinâmica. Então partindo deste princípio pensamos que esta sugestão poderia não servir apenas como fixação de conteúdo mais sim como o desencadeamento de todas as atividades culminando na compreensão deste conteúdo, sendo que o foco principal seria a máquina térmica. A máquina térmica que escolhemos para construir foi um motor Stirling feito com latas de refrigerante, materiais recicláveis e de baixo custo. Justamente o escolhemos, pois os materiais necessários para sua construção são facilmente encontrados em qualquer cidade do Brasil.

Desta forma, primeiramente elaboramos uma sequência didática prevista para 17 aulas de aproximadamente 50 minutos cada. As atividades presentes na sequência didática foram organizadas e construídas levando-se em conta a teoria sócio-histórica de Vygotsky.

Por termos três turmas para aplicar esta sequência didática, pensamos em aplica-la organizada de três modos diferentes, um para cada turma, para podermos fazer uma comparação se a maneira de organização seria um diferencial ou se os resultados que seriam obtidos eram os mesmos somente por causa das atividades e do foco previsto (o aluno). Pensou-se também que pelo fato das turmas A e B serem consideradas melhores (por seus professores), o modo de aplicação não seria um empecilho ao seu desenvolvimento, nem para seus resultados, e por este motivo testamos a sequência do modo como que elaboramos inicialmente apenas na turma C, pensando que se na turma que era considerada problemática e de difícil produção intelectual (por seus professores) funcionasse, ou seja, tivesse um bom aproveitamento, em turmas “boas” isto também poderia ocorrer, apesar de sabermos que cada sala de aula tem uma diferente. As únicas aulas que permaneceram na mesma ordem para todas as turmas foram a primeira (pré-teste), a segunda (linha do tempo) e a última (pós-teste). A ordem de aplicação da sequência didática pode ser observada no quadro 4.

Quadro 4: Organização das atividades de acordo com as turmas.

TURMA A	TURMA B	TURMA C
- Pré-teste.	- Pré-teste.	- Pré-teste.
- Linha do tempo;	- Linha do tempo;	- Linha do tempo;
- Aula expositiva; -Elaboração de paródias.	- Experimento do motor Stirling	- Experimentos sobre pressão e volume.
- Resolução de exercícios.	- Exposição e análise dos diagramas obtidos.	- Aula expositiva; -Elaboração de paródias.
- Experimentos sobre pressão e volume.	- Aula expositiva; -Elaboração de paródias.	- Experimento do motor Stirling.
- Experimento do motor Stirling.	- Resolução de exercícios.	- Exposição e análise dos diagramas obtidos.
- Exposição e análise dos diagramas obtidos.	- Experimentos sobre pressão e volume.	- Resolução de exercícios.
- Pós-teste.	- Pós-teste.	- Pós-teste.

CAPÍTULO 10. IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

10.1 DIÁRIO DE ATIVIDADES

Neste tópico, apresentaremos aula por aula, destacando seus objetivos específicos e como as atividades foram desenvolvidas. Organizamos as aulas como foram apresentadas na turma 3, pois nesta turma foram aplicadas as atividades na ordem prevista em nossa sequência didática. As páginas que aparecem entre os parênteses se referem à paginação do Guia de Orientação do Professor que se encontra no apêndice.

Aula 1 – Concepções Prévias.

Inicialmente, foi solicitado aos alunos que respondessem ao primeiro questionário (pré-teste – p. 7) para que fizéssemos o diagnóstico das concepções prévias dos estudantes sobre os conceitos de temperatura, calor, trabalho, energia, pressão, volume, máquina térmica e reversibilidade.

No momento de aplicação do pré-teste, pedimos aos discentes que o respondessem de forma bem sincera sem tentar fraudar os resultados através de possíveis “cola” entre eles, e que as respostas fossem com a linguagem que eles estão acostumados, com os conhecimentos que possuem e se não soubessem alguma resposta poderiam deixar em branco, mas que esse recurso só deveria ser utilizado em último caso.

Aulas 2, 3 e 4 – Elaboração e explicação da linha do tempo sobre o desenvolvimento das máquinas térmicas.

Dando continuidade à sequência proposta, abordou-se a História da evolução das máquinas térmicas através da construção da linha do tempo. Para essa atividade, foram necessários o empenho e a participação de todos em virtude de que era uma atividade que demandava maior tempo.

Começou-se dividindo os alunos em grupos em média com 5 alunos, distribuiu-se o texto (p. 11) sobre a história das máquinas térmicas e as imagens (p. 20 à 43) e solicitamos que eles as organizassem em uma linha do tempo. Durante essa organização, eles teriam que explicar sobre o autor, o invento correspondente e a importância deste. Esta atividade tinha por objetivo mostrar qual a importância

das máquinas térmicas na história e os conceitos que foram desenvolvidos empiricamente até chegarem ao seu aperfeiçoamento científico, demonstrando a eles que as dificuldades conceituais encontradas por eles também eram bastante comuns aos inventores e a sociedade durante o desenvolvimento das máquinas térmicas.

Ao término da atividade anterior, passamos a confeccionar o protótipo do motor Stirling em aulas extraclasse com alunos que se dispuseram a ir à escola no seu contra turno.

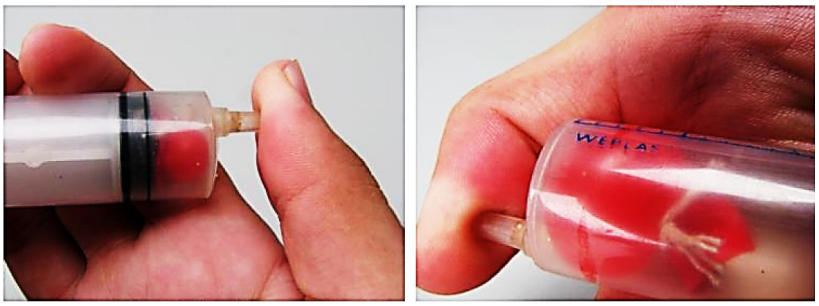
Aula 5 – Realização de experimento no laboratório de ciências sobre pressão, volume, temperatura, calor e sensação térmica.

Para facilitar a compreensão da relação entre os conceitos de pressão e volume e como estes estão relacionados, realizamos o experimento “Acerte a temperatura” (Figura 7) e o experimento “Bexiga na Seringa” (Figura 8).

Figura 7: Experimento “Acerte a Temperatura” (p. 45).

Fonte: A própria autora.

Figura 8: Experimento “Bexiga na Seringa” (p. 47).



Fonte: A própria autora.

Para a concretização destes experimentos, pedimos aos alunos que trouxesse balões pequenos e seringas de 20ml, pois as vasilhas que seriam depositadas a água quente e a água fria eram do laboratório de ciências.

Além destes materiais, foram disponibilizados os roteiros dos dois experimentos (apêndice C – I e II, p. 45 e 47) e foi informado aos discentes que eles iriam trabalhar em grupos e de forma independente, com pouca ou nenhuma interferência do professor. O professor somente deveria ser consultado se eles não conseguissem realizar os experimentos, mesmo com os roteiros.

Aulas 6, 7 e 8 – Apresentação dos ciclos e dos processos termodinâmicos fixando os conteúdos com a elaboração de paródias.

Nestas aulas, o professor deve apresentar aos alunos os ciclos e os processos termodinâmicos através de uma aula expositiva-dialogada com a utilização de slides com várias animações. Esta aula deve ter a duração de aproximadamente 50 minutos.

Para verificar se os alunos assimilaram e adquiriram os conteúdos abordados, foi solicitado que eles escrevessem músicas (paródias) utilizando-se dos ciclos e dos processos termodinâmicos. Para isso, dividimos a turma em grupos e foram sorteados os temas. Cada grupo ficou com um ciclo ou um processo termodinâmico. Depois eles deveriam elaborar uma música ou paródia utilizando estes conteúdos, e fazer um vídeo, ou gravação de áudio ou apresentação ao vivo com ela. Depois de prontos deveriam ser apresentados para os colegas de classe oportunizando o compartilhamento dos conhecimentos produzidos. Os temas e a ficha utilizada para a avaliação das músicas encontram-se nas páginas 67 e 68 do apêndice.

Aulas 9 e 10 – Apresentação do motor Stirling e realização do experimento com coleta de dados.

Após a construção do protótipo, começamos os testes. No princípio, tivemos muita dificuldade por questões operacionais (falta do material adequado – lata de 473ml com o diâmetro correto), mas com certas modificações obtemos o protótipo que pode ser observado na Figura 9.

A ideia inicial era que cada grupo tivesse seu próprio protótipo do motor Stirling, mas devido a dificuldade de adquirir os manômetros de baixa pressão, fizemos apenas um. Portanto, a dinâmica de sala de aula teve que ser alterada.

Iniciamos apresentando aos alunos o protótipo construído com suas respectivas partes, respondendo às perguntas que poderiam surgir. Depois, dividimos os grupos de forma que cada grupo recebesse um roteiro e ficasse com, no mínimo, um integrante que tivesse auxiliado na construção do protótipo.

Para fazerem a filmagem necessária à coleta de dados que seriam utilizados no preenchimento da tabela disponível no roteiro (Tabela 1), um grupo por vez se dirigia ao laboratório de ciências onde fazia a filmagem do motor funcionando.

Enquanto um grupo estava coletando os dados, os outros estavam tirando dúvidas sobre o roteiro, e/ou sobre como deveriam preencher a tabela com os dados.

Figura 9: Protótipo do Motor Stirling construído pelos alunos.

Fonte: A própria autora.

Para desenvolver a habilidade de construção e interpretação de gráficos, utilizou-se o *software* gratuito *LibreOffice Calc*, a maneira de como construir a planilha encontra-se no apêndice. Com o auxílio desta, construiu-se o gráfico do

Ciclo Stirling do motor. Para isso, foi necessário realizar diversas filmagens e anotar os dados obtidos na tabela elaborada com o respectivo *software* (Tabela 1).

Tabela 1. Dados necessários para a construção do gráfico do motor Stirling.

ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm^3)	PRESSÃO (kgf/cm^2)
1							
2							
3							
4							
5							

Fonte: A própria autora.

Assim finalizamos esta aula com a resposta das perguntas presentes no roteiro e a construção dos diagramas do ciclo Stirling do Motor.

Aulas 11 e 12 – Discussão e análise do diagrama obtido pelos discentes.

O objetivo desta aula era compreender as 1ª e 2ª leis termodinâmicas a partir da análise e discussão dos diagramas obtidos.

A intepretação dos diagramas obtidos ocorreu através de discussões em grupo e da análise dos erros obtidos até se chegar ao gráfico mais aproximado do real. Durante esta atividade pode-se adquirir e aplicar os conceitos aprendidos.

Os alunos apresentavam com Datashow os diagramas obtidos e a professora os indagava sobre cada etapa como eles explicariam o porquê do diagrama ficar da forma como eles obtiveram, e qual o sentido físico deste diagrama. É muito importante que o professor os conduza até obterem respostas corretas do ponto de vista dos termos físicos presentes.

Esse momento proporcionou aos discentes refletirem e perceberem as dificuldades encontradas em busca do conhecimento científico e reconhecerem que os erros fazem parte deste processo. Além de começarem a formular as Leis Termodinâmicas.

Aulas 13, 14 e 15 – Resolução de exercícios sobre as Leis Termodinâmicas.

O objetivo desta aula é aprofundar a utilização das ferramentas matemáticas como estruturante do raciocínio físico.

Nesta aula depois dos alunos já terem discutido e analisado os diagramas e o motor Stirling, devemos apresentar o enunciado das leis Termodinâmicas através de uma aula e depois partir para as resoluções de exercícios. (p. 87).

No início, o professor resolve alguns exercícios e depois solicita que os alunos em grupos tentem resolver os outros. No nosso caso, selecionamos exercícios diferentes para serem resolvidos por cada grupo, para evitar que os grupos fiquem querendo apenas copiar dos outros. Depois, em outra aula, eles deveriam trocar os exercícios e tentar resolvê-lo também e, caso tivessem dúvidas, deveriam pedir auxílio para um componente do grupo que já tivesse resolvido.

Aula 16 – Aplicação do pós-teste.

Posteriormente, aplicou-se o segundo e último questionário (pós-teste p. 103) com os discentes envolvidos na pesquisa. Esse pós-teste era composto por questões objetivas e discursivas, totalizando dez questões.

10.2 RESULTADOS

Neste tópico, iniciaremos uma discussão sobre os resultados obtidos a partir da implementação da sequência didática que foi proposta. Analisaremos cada atividade independente de em qual aula ter sido abordada. Verificaremos como foi a receptibilidade a respeito da atividade e qual foi o seu aproveitamento durante e depois de ter sido realizada.

Atividade 1 – Pré-teste.

O pré-teste foi a primeira atividade que os alunos realizaram. Após fazermos a análise das respostas obtidas, verificamos que os conceitos relacionados a respeito de calor e temperatura, trabalho e força, de pressão e volume, eram muito divergentes dos conceitos corretos do ponto de vista científico e apresentavam-se de forma confusa para os discentes.

No que diz respeito aos conceitos de calor e temperatura, que era perguntado na questão 1, obtemos que 76% dos estudantes apresentaram como resposta que calor e temperatura são termos físicos diferentes, o que é correto, mas, no momento de justificarem o porquê da diferença, cometiam erros. Observe algumas respostas obtidas, estas respostas foram transcritas da mesma forma como foram dadas sem correções ortográficas ou de concordância. Os alunos estão representados por números seguidos das letras correspondentes a sua turma. Estes números não condizem em nada com a numeração deles presente no diário de classe, estes números foram sorteados aleatoriamente.

"*Eu acho que o calor é maior que a temperatura. Por exemplo, uma pessoa com o corpo totalmente quente e aquecido for abraçar alguns minuto um pessoa com o corpo frio, acredito que a pessoa com o corpo frio se aquecerá com o corpo quente."* (Aluno 5 A)

"Calor refere-se a quente, temperatura indica temperatura de algo, tipo calor, frio, etc." (Aluno 1 B)

"Há diferença, pois a temperatura tem vários sentidos, devido a temperatura estar alta além do necessário, o ambiente que ocorre esta transformação fica mais quente e provoca o calor. Quando a temperatura é abaixo do limite provoca o frio. Já o calor só surge devido a temperatura está alta ou devido ter algo aquecendo. Ex. fogo." (Aluno 22 C)

Outra grandeza física que causava bastante confusão foi diferença entre força e trabalho, pois 74% dos alunos responderam a segunda questão afirmando que a grandeza física que poderia ser utilizada para calcular a energia transferida da menina para o carrinho ao puxá-lo seria a força, e não trabalho que seria a resposta correta. Os outros 27% não souberam responder deixando a questão em branco. Como podemos observar através de algumas respostas que foram dadas.

"Ação e reação, porque ela está fazendo a ação de puxar o carrinho com a menina e o cachorro." (Aluno 17 A)

"*Ela vai também aplicar uma força para poder si movimentar eu acho que é alguma grandeza que está envolvida com força."* (Aluno 1 B)

“Na minha opinião seria força, porque ela está puxando um carrinho com um menino e um cachorro e precisa de bastante força, e também te a massa, o tempo, a distância e a velocidade.” (Aluno 8 C)

No que se refere a relação entre pressão e volume, 78% dos alunos afirmaram que seria mais fácil cortar um objeto com a lâmina afiada em forma de triângulo ao invés em forma de trapézio, mas no momento de justificar a resposta escolhida eles não percebiam a proporcionalidade entre a pressão e o volume, acreditando que ambos não tivessem nenhuma relação entre si. Algumas respostas apresentação até a ideia de que algo pontiagudo seria melhor, mas não mencionavam nada a respeito da pressão e força. Podemos observar nas seguintes respostas dadas na questão 3 do pré-teste.

“A resposta é a letra a porque a faca afiada desse jeito fica mais fácil.” (Aluno 15 A)

“Triângulo, quanto menor a área, maior a força mais pressão tem.” (Aluno 13 B)

“Porque a lâmina afiada em triângulo facilita o modo de cortar alguma coisa por causa da sua ponta que deve ficar bem afiada e mais útil de utilizá-la.” (Aluno 17 C)

Na questão 4, que era relacionada à máquinas térmicas 82% dos discentes associaram a máquina térmica a temperatura, mas novamente no momento de explicarem sua resposta caiam em contradição. Observem as respostas.

“É uma máquina que mantivesse algo em temperatura correta, ou seja, não descongelaria se estivesse na sua temperatura.” (Aluno 6 A)

“É uma máquina que mede a temperatura do ambiente”. (Aluno 10 B)

“Uma máquina utilizada quando se deseja alcançar uma determinada temperatura.” (Aluno 6 C)

Relacionada à questão 5, que era sobre como eles acreditariam que um motor de uma motocicleta funciona, 88 % dos alunos responderam; outros 12%

deixaram em branco, sem saberem o que responder. Dos alunos que responderam, a maioria considerava que para funcionar o motor de uma motocicleta seria necessário apenas gasolina. Observe algumas respostas.

“Uma moto para a mesma se movimentar é preciso de óleo para lubrificar o motor, de gasolina para a mesma se movimentar, e também é preciso utilizar uma força, assim para a temperatura subir e fazer com que o motor esquente e a moto possa sair do lugar.” (Aluno 3 A)

“A queima da gasolina produz energia térmica que faz mover o motor”. (Aluno 10 C)

“Funciona com suas peças em dia e gasolina.” (Aluno 7 C)

“Eu acho que a queima de combustível e a pressão e aceleração.” (Aluno 12 B)

“Uma espécie de energia que vem da bateria da moto passa para o motor que gera força para que todos os encaixes como a corrente gire fazendo com que a moto entre em movimento, mas todo esse processo necessita de combustível.” (Aluno 7 B)

“Ele funciona através de gasolina que vai dar pressão para a moto gerando um curto na vela, fazendo o motor funcionar.” (Aluno 11 B)

A resposta obtida na questão 6 foi que 79% dos alunos acreditavam que deixando uma geladeira aberta em uma cozinha proporcional ao tamanho da geladeira e que estivesse isolada esta conseguiria resfria-la. Nenhuma das respostas dos alunos levavam em consideração o fato de que o motor da geladeira estaria aquecendo e com isso ocorreriam trocas de calor com a cozinha, fazendo com que a geladeira ao mesmo tempo que estivesse liberando o ar frio ela também estaria liberando ar quente o que impossibilitaria seu resfriamento por completo. Observe as respostas dadas pelos alunos.

“Sim, pois a geladeira faz gelo e o gelo é frio, então se a cozinha é isolada, e a porta da geladeira estiver aberta com certeza ela ficará com um clima frio, pois não

tem como o frio sair, então dentro dela estará frio, e a parte de fora quem, ela esfriará que ela está isolada esfria cada vez mais." (Aluno 8 A)

"Sim, porque com a temperatura que iria sair de dentro da geladeira resfria." (Aluno 1 B)

"Observa-se que, se esta cozinha está isolada e a geladeira com a porta aberta, a tendência é que o ambiente fique gelado, por exemplo: um quarto com ar-condicionado, ele ia gelar se a porta do quarto tiver fechada, para o calor não entrar." (Aluno 22 C)

Na questão de número 7, queríamos abordar como os alunos entendem o tema reversibilidade, se eles conseguiriam reconhecer os exemplos apresentados. Apenas 15% conseguiu acertar todos os exemplos. A maioria dos alunos 33% acertaram apenas 60% dos exemplos que foram apresentados nas alternativas.

Com a análise de todas as respostas dadas pelos estudantes, podemos perceber que os discentes possuem ideia dos conceitos físicos que estamos interessados em abordar (pressão, calor, trabalho, reversibilidade), mas em uma perspectiva errônea causando confusão entre estes termos. Esperamos que depois de desenvolvidas as atividades, tenhamos uma melhora em tais conceitos.

Atividade 2 – Linha do tempo.

Nesta atividade, notamos a curiosidade dos discentes em saber o que eram aquelas imagens e o que representavam. Ao fazê-los organizar as figuras em ordem cronológica, pois as figuras foram distribuídas aleatoriamente, percebemos que eles puderam interagir entre os componentes do próprio grupo e com os componentes dos outros grupos, um auxiliando o outro a encontrarem a ordem correta.

Durante esta atividade, verificamos que os discentes comentavam que eram muitos os inventores e as máquinas que eles produziram; também perceberam que alguns inventores criaram ou aperfeiçoaram mais de uma máquina. Outro fato que notaram é que os sobrenomes e alguns nomes são complicados de pronunciar, percebendo que isso se devia ao fato desses personagens serem de outros países.

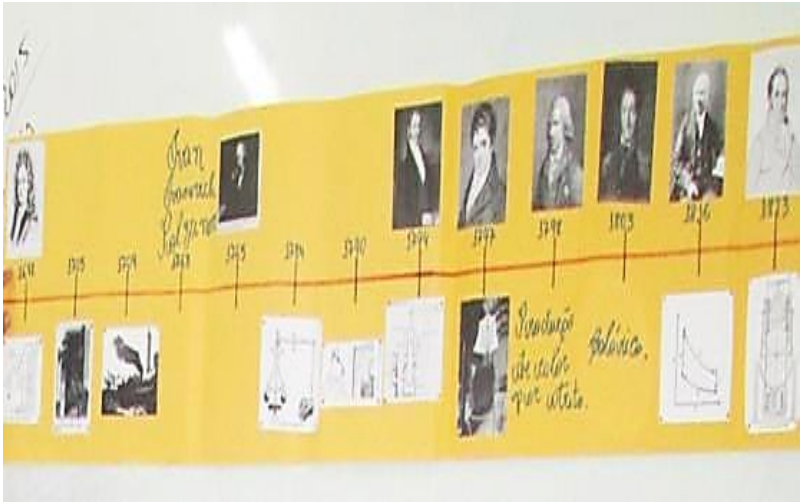
Devido a quantidade de imagens e o tempo que demoraram para construir a linha do tempo eles comentavam como todo esse conhecimento demorou para ser

aperfeiçoado e como os conceitos que foram desenvolvidos empiricamente evoluíram até ao seu aperfeiçoamento científico, demonstrando a eles que as dificuldades conceituais que eles encontram também eram bastantes comuns aos inventores e a sociedade, durante o desenvolvimento das máquinas térmicas. Observe as imagens da linha do tempo construída pelos discentes.

Figura 10: Linha do tempo construída pela turma A.

Fonte: A própria autora.

Figura 11: Linha do tempo construída pela turma B.



Fonte: A própria autora.

Figura 12: Linha do tempo construída pela turma C.

Fonte: A própria autora.

Depois da linha do tempo construída, eles precisavam explicar para os colegas de turma quem era aquele personagem e o que ele havia construído e a importância deste invento para a história da evolução das máquinas térmicas.

Outros comentários feitos pelos discentes foram a respeito do desenvolvimento da aula, pois falavam que a atividade havia sido muito boa e que este tipo de atividade deveria ser feito mais vezes. Falavam também que esses inventores deveriam ser "*muito loucos"* para criarem algo assim e alguns ficavam imaginando o que deveria se passar na cabeça deles.

Atividade 3 – Experimento "Bexiga na Seringa"

Nesta atividade, esperávamos que os discentes aprimorassem seus conceitos sobre pressão e volume. Partindo deste princípio e tentado solucionar tal dificuldade conceitual, partiu-se para o experimento "Bexiga na Seringa" (Figura 13). Esse experimento consistia em confeccionar uma pequena bexiga de balão de aniversário, colocá-la dentro da seringa e comprimir e expandir o êmbolo, para verificar o que poderia acontecer e explicar o que havia acontecido.

Figura 13: Alunos realizando o experimento sobre pressão e volume.

Fonte: A própria autora. Observação: os alunos que aparecem na foto são maiores de idade.

Durante a realização deste experimento, os alunos confrontavam suas ideias empíricas, e se surpreendiam muito com os resultados. A maioria dos alunos acreditava que ao apertar a seringa com a bexiga dentro dela, ela deveria encher ou não deveria acontecer nada, e quando puxássemos o êmbolo ela deveria diminuir de tamanho. Quando o resultado foi o oposto do imaginado os questionamentos foram imediatos e logo buscaram uma explicação para o que estava acontecendo. A discursão em grupo para apresentarem uma justificativa para explicar o que havia ocorrido foi muito proveitosa e no final eles acabaram se convencendo da relação entre pressão e volume.

Após este experimento, analisamos as respostas dadas pelos alunos e verificamos que os conceitos dificultosos anteriores haviam sido melhorados, pois apenas 6% ainda continuavam com o mesmo equívoco conceitual sobre a relação entre pressão e volume.

Atividade 4 – Experimento "Acerte a Temperatura"

Com esta atividade esperávamos que os alunos reduzissem o erro entre os conceitos de temperatura e sensação térmica. Durante esta atividade os discentes puderam confrontar algumas ideias empíricas, no momento de sua realização eles ficavam muito surpresos com o que estava acontecendo, como os sentidos deles os enganavam e como podiam estar errados.

Quando os alunos colocavam uma mão dentro da água fria e a outra dentro da água quente ao mesmo tempo para eles era normal, respondiam à pergunta

dizendo que uma água estava quente e a outra fria, mas no momento que eles colocavam as duas mãos ao mesmo tempo dentro da vasilha com água a temperatura ambiente e lhes era perguntado qual era a temperatura da água eles ficavam confusos, pois o tato deles os estava enganando.

Eles não conseguiam responder se a água estava fria ou quente, e qual era sua temperatura aproximada, pois no lado que a mão anteriormente estava em água gelada eles afirmavam que a água da vasilha estava quente e do lado que a mão estava anteriormente quente eles afirmavam que a água estava gelada.

Depois de fazerem o experimento, tentavam explicar o que tinha ocorrido e neste momento puderam assimilar e diferenciar os conceitos de temperatura, sensação térmica e calor. Quando analisamos as respostas dadas no roteiro percebemos que apenas 12% dos discentes de todas as turmas ainda mantinham o erro entre estes conceitos.

Atividade 5 – Ciclos e processos termodinâmicos – músicas

Esta atividade proporcionou os alunos desenvolverem sua criatividade e apropriação de termos físicos em uma linguagem acessível a sua faixa etária.

O primeiro momento da atividade, consistia na aula expositiva com a apresentação de slides sobre os ciclos e processos termodinâmicos, nesta etapa a professora expôs os conceitos oralmente com o auxílio da apresentação das animações presentes nos slides. Depois disso a professora solicitou aos alunos que formassem grupos com aproximadamente 5 pessoas para que compusessem as músicas com temas dos processos termodinâmicos.

Durante o desenvolvimento da aula expositiva os discentes achavam engraçados os nomes dos processos e ciclos termodinâmicos, colocando apelidos nos mesmos. Por exemplo: no processo adiabático chamaram de processo “adiabólico”, o ciclo de Carnot virou o “ciclo da Canoa”, o ciclo Stirling se transformou no Ciclo Estilingue, dentre outros apelidos.

Como eles acharam os nomes engraçados ficaram ansiosos para escreverem as músicas. A seguir estão alguns exemplos das músicas/paródias criadas pelos discentes.

Tema: Ciclo Otto

Compositores: alunos 01, 08, 19, 22 e 25 – Turma A

Ciclo Termodinâmico que idealiza o funcionamento
De motores de combustão, estágio e ignição
É realizado por processos de expansão e compressão
Motores baseados neste ciclo equipam
A maioria de automóveis de passeio
Atualmente esta publicação é possível construir
Motores de 4 tempos mais eficientes e menos poluentes

Ciclo Otto é um processo isentrópico
De equações de gases ideais e relações
Pressão e volume é constante
Para obter equações

A única diferença
É que existe pelo menos
Duas válvulas para cumprir uma função
No convencional é só uma válvula
Para uma admissão e uma exaustão

Ciclo Otto é um processo isentrópico
De equações de gases ideais e relações
Pressão e volume é constante
Para obter equações

Tema: Ciclo Diesel

Compositores: alunos 04, 13, 15, 21 e 27 – Turma B

Alguém já me falou
Que existe uma máquina térmica
Cujo o nome é ciclo Diesel

Lembrei o que era
Isso é ruim eu sei
Com o físico e engenheiro alemão não foi diferente
Eles que inventaram o Ciclo Diesel
Que é usado em todo avião

Parei, pensei, busquei um novo significado
Achei, gostei que até escrevi
Era a combustão do combustível
Que se faz com o aumento de temperatura
Provocado pela compressão de ar

Parei, pensei, busquei um novo significado
Achei, gostei que até escrevi
Era a combustão do combustível
Que se faz com o aumento de temperatura
Provocado pela compressão de ar...

Tema: Transformação Isotérmica
Compositores: alunos 03, 14, 17, 18 e 20 – Turma C

Prepara é hora
Da transformação isotérmica
Você vai estudar para aprender

Prepare, estude
E vai no equilíbrio
E mande a massa e o volume específico
Que traz pressão com constante expressão.

Prepare, estude
Transformação termodinâmica
E vai de forma expansão isotérmica

O gás presente é o gás ideal

Prepare, o gás ideal é amigo e compromisso
E gases perfeitos andam juntos e parceiros
Calor, temperatura, banho térmico
Que você vai estudar para aprender
Aonde vai se aplicar

Que vai para o ponto A para o ponto B
Que você vai aprender, prepare
Se você não entendeu,
Pode perguntar que nós estamos aqui para te ajudar!

Tema: Transformação Isovolumétrica
Compositores: alunos 02, 05 e 23 – Turma C

A transformação isovolumétrica
Conhecida também como isocórica ou isométrica
Não tem variação de volume, não tem trabalho
O gás ao ser aquecido aumenta sua pressão
E quando resfriado diminui, diminui e vice e versa
A transformação isovolumétrica

A transformação isovolumétrica
Conhecida também como isocórica ou isométrica
Não tem variação de volume, não tem trabalho
O gás ao ser aquecido aumenta sua pressão
E quando resfriado diminui, diminui e vice e versa
A transformação isovolumétrica

Tema: Transformação Adiabática

Compositores: alunos 07, 08 e 23 – Turma C

Preste atenção no que eu vou lhe falar,
Não é brincadeira então vem estudar,
Fique esperto, pois vou te ensinar,
Que o calor aqui não vai mudar.
Isolando o ambiente obtém-se a transformação,
Aumenta a temperatura e o P também na compressão;
Adiabática é sensacional

Se o volume cresceu, a expansão formou,
E o T e o P cedeu,
E se a pressão variar e junto com o T cair;
E se o nosso volume aumentar;
O nosso gás vai se expandir;

Se o “V” desce, o “V” desce, o “V” desce
Na compressão, quem sobe, quem sobe,
Quem sobe é o “T” e a pressão
E se o “V” desce, o “V” desce, o “V” desce
Na compressão, quem sobe, quem sobe,
Quem sobe é o “T” e a pressão
E se ele sobe, ele sobe, ele sobe
Vai gerar a expansão

Como podemos perceber, por meio da análise das músicas, os alunos apesar de terem participado de uma aula expositiva sobre os ciclos e processos termodinâmicos ainda apresentam dificuldades de compreensão dos mesmos e até confusão entre os termos, mas também demonstram que estão começando a associar os locais que estes ciclos são utilizados. Os alunos da turma C apresentaram melhor desempenho na construção das músicas como podemos

perceber com as letras das músicas, isto pode ser uma das evidências de que a sequência organizada como foi proposta pode ter melhores resultado.

Atividade 6 – Experimento “Diagrama do Motor Stirling”

Esta atividade foi a que demandou mais cautela por parte dos discentes, pois eles estavam manuseando álcool e fogo, e qualquer descuido poderia causar alguma explosão ou queimaduras, mas isto foi explicado logo no início e eles tiveram bastante cuidado, não ocorrendo nenhum acidente.

Ao manipularem o protótipo do motor Stirling eles demonstravam estar muito entusiasmados e quando o viram funcionando se impressionaram mais ainda. Os alunos em grupos receberam o roteiro do experimento e por ordem de sorteio foram se direcionando em grupo ao laboratório de ciências da escola, sendo que foi um grupo de cada vez, pois só possuíamos um protótipo do motor Stirling.

No começo das filmagens foi difícil gravar, visualizando ao mesmo tempo o êmbolo e a marcação do manômetro, mas com um pouco de prática e técnica eles conseguiram. Algo que eles fizeram sem o auxílio da professora foi utilizar outro celular com flash para iluminar o movimento do êmbolo dentro do cilindro quente enquanto fazia a filmagem facilitando sua visualização para a retirada dos dados.

Depois das filmagens prontas, eles voltavam para a sala de aula e com o auxílio de notebook iriam verificar se as imagens ficaram boas e se era possível extrair as informações do êmbolo e do manômetro. Alguns grupos tiveram que voltar e refazer as filmagens, pois essas ficaram não muito boas para a retirada dos dados.

Agora que já haviam verificado as filmagens, os discentes retiraram os dados e anotaram na tabela 1 e tabela 2, presentes no roteiro do experimento, e, em seguida, responderam às questões propostas, que também estavam no roteiro.

Com o auxílio da planilha criada no *software* gratuito *LibreOffice Calc,* instalado nos notebooks dos alunos e da professora, os alunos puderam transferir os dados da tabela do roteiro para a tabela da planilha e, dessa forma, obter o gráfico da relação entre a pressão e o volume do motor Stirling, que forma seu ciclo.

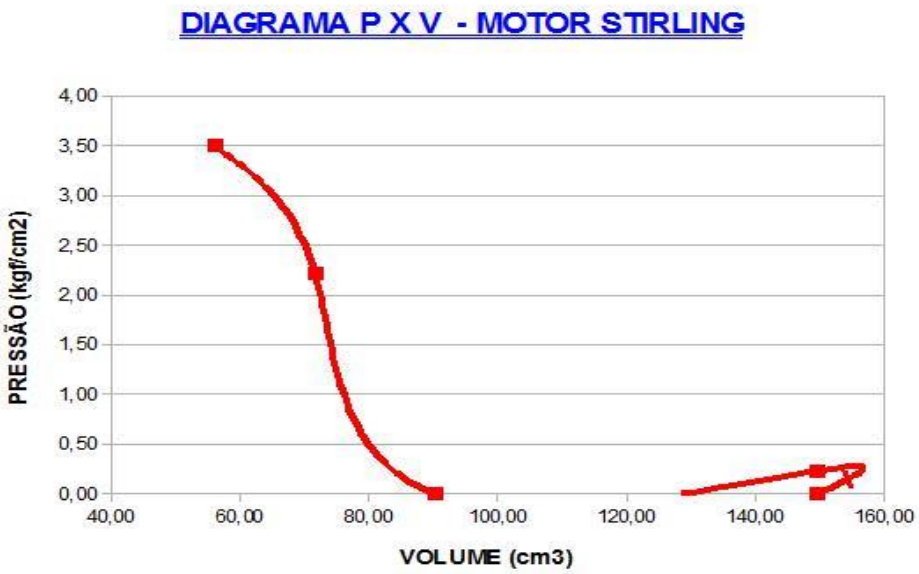
Alguns grupos não prestaram atenção no roteiro, no momento de organizarem os dados obtidos, por isso alguns gráficos ficaram bem engraçados. Um grupo até descobriu a “anti-matéria”, pois de acordo com o gráfico 1, que produziram, o gás dentro do êmbolo em certo momento desaparece e reaparece

como por “mágica”. Os discentes eles sabiam, graças ao seu formato, que o gráfico estava errado, mas eles não sabiam explicar onde estava o erro, nem percebiam que, se o gás desaparecesse e reaparecesse sem justificativa, isso tinha alguma implicação física. Vamos agora observar algumas tabelas com seus respectivos gráficos produzidos pelos alunos.

Tabela 2. Dados obtidos a partir da filmagem do funcionamento do protótipo do motor Stirling – grupo 3 – Turma A.

ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm3)	PRESSÃO (kgf/cm2)
1	**6,3**	**3,2**	8	0	4,8	149,63	0,00
2			8	1	4,8	149,63	0,23
3			0,3	0	2,9	90,40	0,00
4			0,9	9,5	2,3	71,70	2,22
5			1,4	15	1,8	56,11	3,50

Gráfico 1. Diagrama Pressão versus Volume do ciclo do motor Stirling construído pelo grupo 3 – turma A, utilizando os dados da tabela 2.



Fonte: Grupo 3 – Turma A.

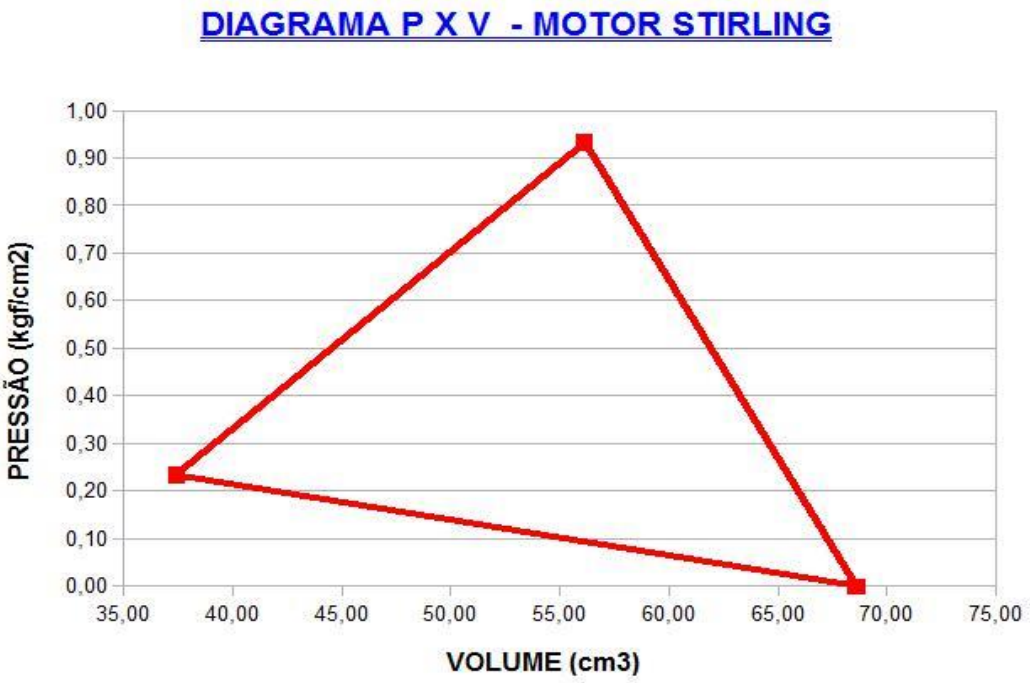
Quando os alunos responsáveis pelo gráfico 1 o apresentaram, os discentes começaram a rir, a partir daí indaguei-os para saber o motivo das risadas. Alguns responderam que o grupo havia descoberto a anti-matéria.

Tabela 3. Dados obtidos a partir da filmagem do funcionamento do protótipo do motor Stirling – grupo 1 – Turma B.

ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm3)	PRESSÃO (kgf/cm2)
1			1	0	2,2	68,58	0,00
2			2	1	1,2	37,41	0,23
3	**6,3**	**3,2**	5	4	1,8	56,11	0,93
4			1	0	2,2	68,58	0,00
5			5	4	1,8	56,11	0,93

Fonte: Grupo 1 – Turma B.

Gráfico 2. Diagrama Pressão versus Volume do ciclo do motor Stirling construído pelo grupo 1 – turma B, utilizando os dados da tabela 3.



Fonte: Grupo 1 – Turma B.

No gráfico 3, as risadas também aconteceram, mas dessa vez pudemos explicar que o erro obtido no desenvolvimento deste gráfico foi o fato da pressão e do volume estarem em alguns pontos aumentando concomitantemente, o que fisicamente está incorreto. O que me deixou bastante satisfeita foi verificar que os próprios estudantes detectaram este erro e quando foram questionados sobre, responderam que eles haviam aprendido que a pressão e o volume são inversamente proporcionais, ou seja, “quando um sobe o outro deve descer” frase dita pelo aluno 23B.

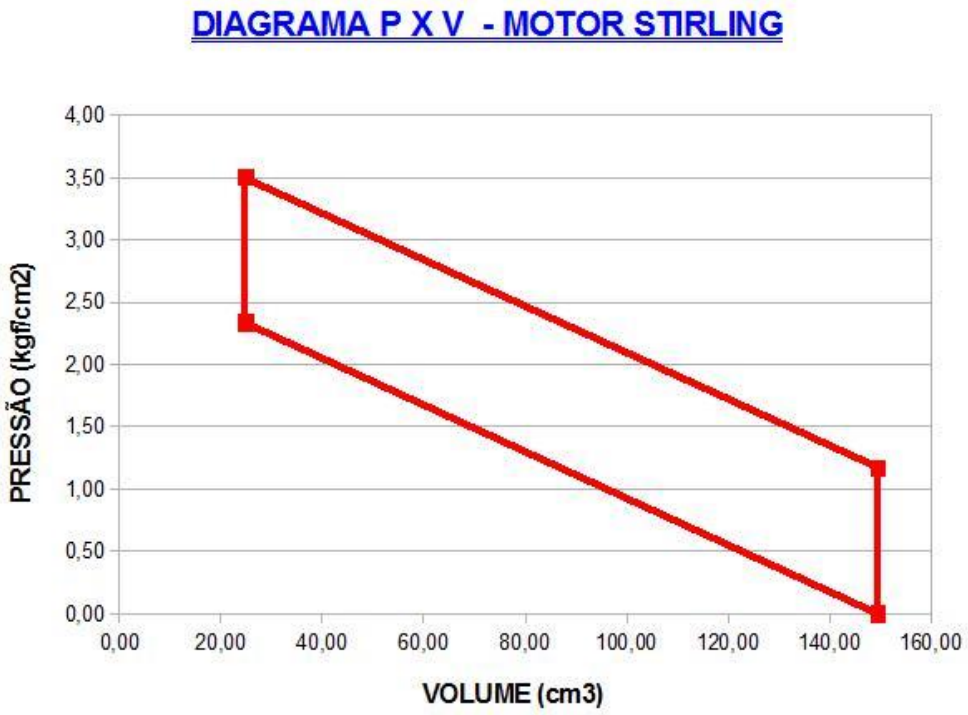
Os melhores gráficos obtidos de imediato foram os gráficos da turma C. Nessa turma, percebemos que os estudantes se preocuparam para que o gráfico ficasse bem parecido com o real antes de apresentá-lo aos colegas de turma, e isso fez com que retirassem os dados da filmagem com mais cuidado, e por várias vezes verificaram a filmagem para terem mais segurança de que os dados estavam corretos. A seguir, estão apresentados exemplos de dois gráficos desta turma.

Tabela 4. Dados obtidos a partir da filmagem do funcionamento do protótipo do motor Stirling – grupo 1 – Turma C.

ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm^3)	PRESSÃO (kgf/cm^2)
1	**6,3**	**3,2**	4	15	0,8	24,94	3,50
2			8	5	4,8	149,63	1,17
3			8	0	4,8	149,63	0,00
4			4	10	0,8	24,94	2,33
5			4	15	0,8	24,94	3,50

Fonte: Grupo 1 – Turma C.

Gráfico 3. Diagrama Pressão versus Volume do ciclo do motor Stirling construído pelo grupo 1 – turma C, utilizando os dados da tabela 4.



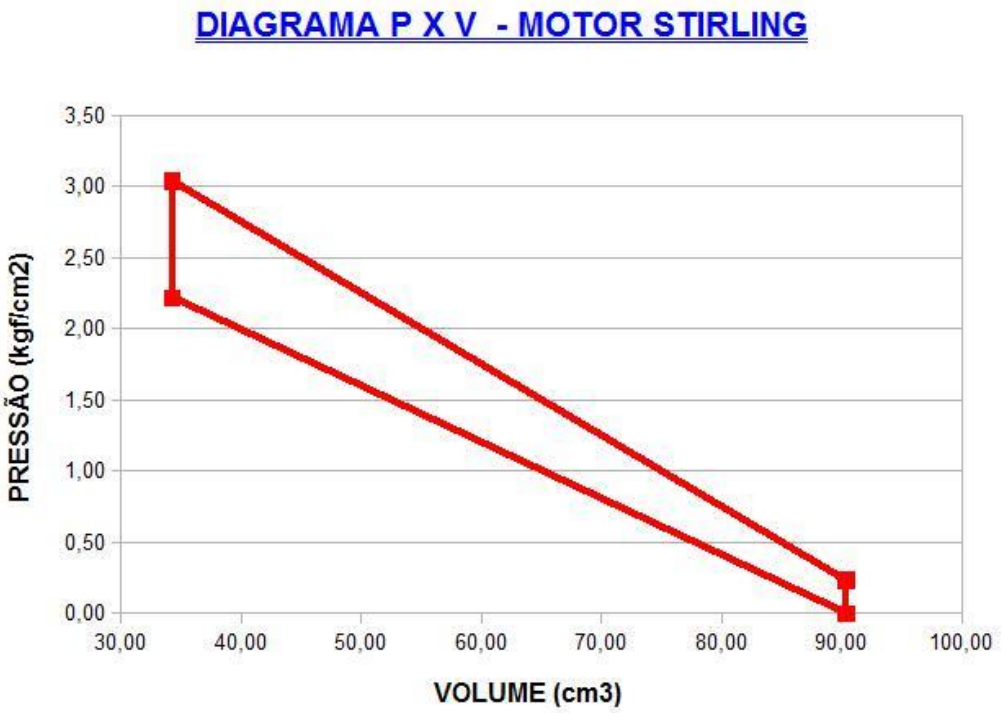
Fonte: Grupo 1 – Turma C.

Tabela 5: Dados obtidos a partir da filmagem do funcionamento do protótipo do motor Stirling – grupo 2 – Turma C.

ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm3)	PRESSÃO (kgf/cm2)
1	**6,3**	**3,2**	4,3	13	1,1	34,29	3,03
2			6,1	1	2,9	90,40	0,23
3			6,1	0	2,9	90,40	0,00
4			4,3	9,5	1,1	34,29	2,22
5			4,3	13	1,1	34,29	3,03

Fonte: Grupo 2 – Turma C.

Gráfico 4. Diagrama Pressão versus Volume do ciclo do motor Stirling construído pelo grupo 2 – turma C, utilizando os dados da tabela 5.



Fonte: Grupo 2 – Turma C.

Durante a apresentação dos gráficos, os alunos de outros grupos percebiam que alguns gráficos estavam errados e auxiliaram os outros grupos a corrigirem o erro, até obterem o gráfico mais aproximado do real. Durante esta atividade. pode-se adquirir e aplicar os conceitos aprendidos. Esse momento proporcionou aos discentes refletirem e perceberem as dificuldades encontradas em busca do conhecimento científico e reconhecerem que os erros fazem parte deste processo.

Atividade 7 – Resolução de Exercícios

No primeiro momento dessa atividade, a professora expôs oralmente em uma aula os enunciados das leis Termodinâmicas e em seguida resolveu alguns exercícios de exemplo.

Logo após, solicitou que os alunos ficassem em grupos para resolver alguns exercícios que a professora selecionou. Neste momento, quando os discentes receberam as páginas impressas com os exercícios, a primeira atitude deles foi compará-las para verificar se eram iguais, mas quando perceberam que não era,

ficaram espantados, e logo preocuparam-se em tentar resolver entre eles mesmos, já que foi solicitado que todos deveriam entregá-los respondidos em seus cadernos.

Na próxima aula, os alunos continuaram resolvendo os exercícios. Só que agora eles estavam com exercícios que já haviam sido resolvidos por outro grupo, sem saberem dessa informação. Depois de algum tempo, após terem tentado resolver, foi informado que estavam com exercícios já resolvidos por outros grupos e que, caso tivessem dúvidas, deveriam pedir auxílio para um componente do grupo que resolvera a atividade.

Para evitar que os alunos apenas copiassem dos outros, foi dito aos discentes que o grupo que terminasse primeiro de resolver todos os exercícios propostos receberia dois pontos, mas, se no momento que fossem ensinar o outro grupo, ensinassem errado, o grupo que ensinou errado perderia um ponto.

Nessa atividade, pudemos perceber que os discentes se ajudavam mutuamente para solucionar os exercícios sem darem a resposta pronta, e muito pouco foi solicitado à intervenção da professora, eles sentiam que eram capazes de resolvê-los e que realmente haviam assimilado o conteúdo.

No momento que foram lendo os exercícios, podíamos perceber os comentários "*esse aqui eu sei*", "*esse aqui é bem fácil*", "*vamos já ganhar esses pontos*", "*eu pensava que a professora iria passar algo mais difícil",* por meio destes verificamos como estavam seguros, como realmente haviam compreendido o conteúdo e como haviam se apropriado das ferramentas matemáticas.

A grande maioria dos grupos da turma A e turma B, que passaram por outra forma de organização da sequência didática, tiveram dificuldades para resolver os exercícios. Já os grupos da turma C tiverem os melhores resultados, mostrando mais uma evidência de que a melhor forma de organização didática é a que estamos propondo.

Atividade 8 – Pós-teste

O pós-teste foi a última atividade que os alunos realizaram. Após fazermos a análise das respostas obtidas verificamos que os conceitos relacionados a respeito de calor e temperatura, trabalho e força, de pressão e volume, haviam apresentado uma grande melhora e evolução, sendo que quase todos os discentes haviam compreendidos.

No que diz respeito aos conceitos de calor e temperatura, que era perguntado na questão 1, obtemos que 85% dos estudantes apresentaram como resposta que calor e temperatura são termos físicos diferentes, o que é correto, e sabendo justificar o motivo de tal diferença. Observe algumas respostas obtidas.

"*Eu acho que o calor e temperatura são diferentes. Por exemplo, uma pessoa com o corpo totalmente quente e aquecido for abraçar alguns minuto um pessoa com o corpo frio, a pessoa com o corpo frio se aquecerá com o corpo quente, isto se deve ao fato que a temperatura vai ser o modo como as partículas do corpo estão agitadas e o calor e a energia que fará com que essas partículas fiquem agitadas."* (Aluno 5 A)

"Calor refere-se a energia, temperatura indica a quantidade de movimento das moléculas de algo." (Aluno 1 B)

"Há diferença, pois a temperatura tem vários sentidos, devido a agitação das moléculas. Já o calor só surge quando temos temperaturas diferentes." (Aluno 22 C)

Outra grandeza física que causava bastante confusão que podemos perceber através do pré-teste foi diferença entre força e trabalho. Antes, 74% a confundiram. Agora, após o desenvolvimento das atividades, 85% dos alunos acertaram a resposta da segunda questão e nenhum aluno deixou a resposta em branco. Podemos observar a melhora conceitual por meio de algumas respostas que foram dadas a seguir.

"Trabalho, porque ela está fazendo uma força de puxar o carrinho com a menina e o cachorro e gastando energia." (Aluno 17 A)

"*Ela vai aplicar uma força para poder si movimentar eu acho que é alguma grandeza que está envolvida com força e esta é o trabalho."* (Aluno 1 B)

"Na minha opinião seria trabalho, porque ela está puxando um carrinho com um menino e um cachorro e precisa de bastante força, e como o carrinho se move ela tem o trabalho." (Aluno 8 C)

No que se refere à relação entre pressão e volume 91% dos alunos afirmaram que seria mais fácil cortar um objeto com a lâmina afiada em forma de

triângulo, em vez de em forma de trapézio, e apresentaram uma justificativa com o nível conceitual bom, mencionando a respeito da pressão, da força e da área. Podemos observar nas seguintes respostas dadas na questão 3 do pré-teste.

"A resposta é a letra a porque a faca afiada desse jeito diminui a área e fica mais fácil." (Aluno 15 A)

"Triângulo, quanto menor a área, menor a força menos pressão tem." (Aluno 13 B)

"Porque a lâmina afiada em triângulo facilita o modo de cortar alguma coisa por causa da sua ponta que vai ficar com a área menor e daí teremos que empregar menos força para cortá-la." (Aluno 17 C)

Na questão 4, que era relacionada à máquinas térmicas, 97% dos discentes associaram a máquina térmica desta vez a temperaturas diferentes e ao trabalho. Observem algumas respostas.

"É uma máquina que transforma calor em trabalho, pois temos duas temperaturas diferentes." (Aluno 6 A)

"É uma máquina que mede a temperatura do ambiente". (Aluno 10 B)

"Uma máquina utilizada quando temos duas temperaturas diferentes para gerar trabalho." (Aluno 6 C)

Relacionada à questão 5, sobre o funcionamento do motor de uma motocicleta, 94% dos alunos responderam, e 6% deixaram em branco, sem saberem o que responder. E dessa vez os alunos responderam considerando a combustão da gasolina, além dos tempos do ciclo do motor. Observe algumas respostas.

"Uma moto para a mesma se movimentar é preciso de óleo para lubrificar o motor, da explosão da gasolina para movimentar os eixos do motor, e fazer com que o motor gire o virabrequim e a moto possa sair do lugar." (Aluno 3 A)

"A queima da gasolina produz energia térmica que faz mover pistão do motor para baixo depois ele sobe e o motor continua seu ciclo". (Aluno 10 C)

“Uma espécie de energia que vem da bateria da moto passa para o motor que gera força para que todos os encaixes como a corrente gire fazendo com que a moto entre em movimento, mas todo esse processo necessita da expansão do combustível.” (Aluno 7 B)

“Ele funciona através do aumento da pressão gerada pela explosão da gasolina com uma faísca da vela, fazendo o pistão do motor que estava comprimindo a vela descer e funcionar.” (Aluno 11 B)

“Através da admissão, compressão, explosão, expansão e exaustão da gasolina.” (Aluno 20 C)

Anteriormente ,na resposta da questão 6, a maioria dos alunos acreditavam que deixando uma geladeira aberta em uma cozinha proporcional ao tamanho da geladeira, estando esta isolada, esta conseguiria resfriar o cômodo. Mas, após as atividades, apenas 12% dos discentes ainda continuavam com essa ideia errônea. A maioria, 88%, concluíram o fato de que o motor da geladeira estaria aquecendo o ambiente ao mesmo tempo que o resfriava. Isso resultaria em trocas de calor com a cozinha, impossibilitando seu resfriamento por completo. Observe as respostas dadas pelos alunos.

“Não, pois o motor da geladeira está dentro da cozinha.” (Aluno 8 A)

“Não, porque a temperatura da cozinha seria resfriada pela parte da frente da geladeira e aquecida por seu motor na parte de trás.” (Aluno 1 B)

“Observa-se que, se esta cozinha está isolada e a geladeira com a porta aberta, a tendência é que o ambiente fique gelado, mas como o motor da geladeira para liberar o ar frio precisa aquecer já que está produzindo trabalho, ele ao mesmo tempo em que resfriasse a cozinha iria esquentá-la. Por exemplo: um quarto com ar-condicionado, ele só gela porque seu motor fica do lado de fora.” (Aluno 22 C)

Na questão de número 7, queríamos abordar como os alunos entendem a questão da reversibilidade, se eles conseguiriam reconhecer os exemplos apresentados. Agora, 70% conseguiram acertar todos os exemplos, e a minoria, 3%, não acertaram nenhum dos exemplos.

A partir de agora, analisaremos questões que foram apresentadas no pós-teste e que não estavam presentes no pré-teste. As questões são as de número 8 até a de número 11.

Na questão de número 8, gostaríamos de constatar se os discentes já haviam compreendido a relação entre a pressão e o volume. Nela aparecia a imagem de uma seringa e pesos em seu êmbolo, esperávamos como prováveis respostas que os discentes associassem a diminuição de volume ocorrida na seringa com o aumento de pressão em seu êmbolo, e felizmente foi o que ocorreu em 84,8% das respostas, o que representa a maioria.

Na questão de número 9, o objetivo era averiguar se os discentes ainda sabiam utilizar as ferramentas matemáticas que aprenderam. Neste caso pudemos constatar que 79% responderam as questões com êxito e não houve nenhum aluno que deixasse essa questão em branco. Os outros 22% não acertaram completamente por falta de atenção, pois erraram apenas o jogo de sinais ou a divisão.

As questões de número 10 e 11 tinham por finalidade verificar se os discentes conseguiriam descrever as 1ª e 2ª leis da termodinâmica e dar exemplos das mesmas. A maioria dos discentes conseguiu responder corretamente e ainda dar exemplos, totalizando 88%. Outros responderam, mas não souberam dar exemplos, sendo 9%. Apenas 3% não responderam corretamente.

Analisando todas as respostas dadas pelos estudantes no pós-teste, podemos perceber que os discentes anteriormente com dificuldades nos conceitos de pressão, calor, trabalho, força e reversibilidade, em sua maioria a superaram.

Pudemos constatar também que apesar da alteração na ordem da sequência didática proposta os discentes apresentaram resultados muito parecidos, mas em contrapartida percebemos que em relação ao conhecimento conceitual e a utilização das ferramentas matemáticas os alunos da Turma C tiveram desempenho muito melhor, o que corrobora para a funcionalidade da síntese proposta. Em virtude de que esses alunos foram o que anteriormente apresentavam maiores dificuldades de aprendizagem e foram os que tiveram as atividades implementadas na ordem da síntese originalmente proposta.

Atividade Extraclasse 1 – Construção do Protótipo do Motor Stirling

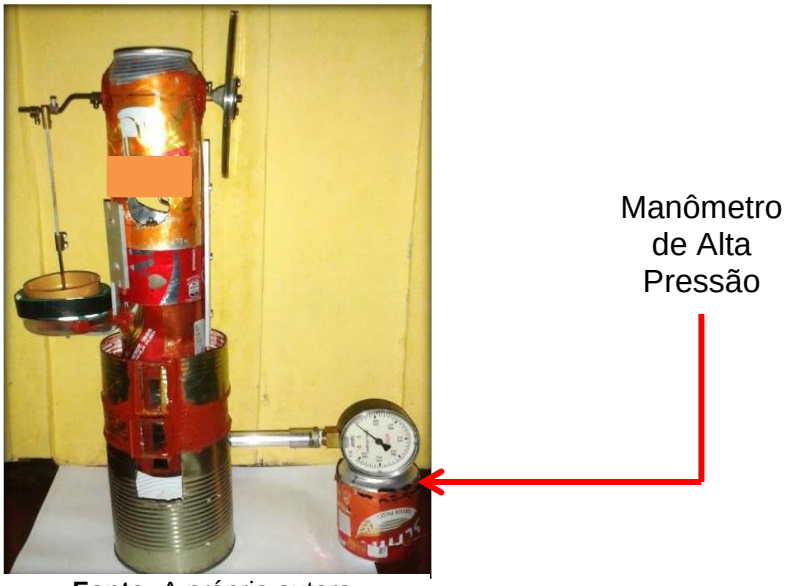
Ao solicitarmos aos discentes que poderiam comparecer na escola em seu contra turno, estes ficaram ansiosos para saber o que iriam fazer, e assim que souberam que iriam construir uma máquina que poderia produzir corrente elétrica, ficaram entusiasmados. Dessa atividade, participaram seis alunos, sendo dois alunos de cada turma.

Durante a construção, se depararam com materiais que nunca haviam visto antes. Logo, queriam saber sua função. Depois que o motor estava construído, começamos a fazer os testes.

O primeiro protótipo que construímos não funcionou. Isso foi muito frustrante para todos, mas, por outro lado, foi muito bom, pois nos proporcionou analisar e verificar o que havia errado. O erro que ocorreu foi causado porque não deixamos um espaço entre o cilindro de aquecimento e o de resfriamento, ocasionando o aquecimento de ambos, impossibilitando que o ar ao depois de ser aquecido resfriasse.

Em seguida, corrigimos a falha e começamos novamente os testes. Dessa vez o protótipo funcionou, porém o manômetro que utilizamos marcava apenas pressões grandes e a pressão dentro do cilindro de resfriamento era tão pequena que ele não conseguia marcar. Podemos observar o segundo protótipo na figura 14.

Figura 14: Segundo protótipo do Motor Stirling com o manômetro para grandes pressões.



Fonte: A própria autora.

Quando constatamos mais esse erro, os alunos começaram a ficar muito desapontados, pois acreditavam que não conseguiriam realizar o experimento e que a culpa de todos os erros era deles. Isto causou certo desconforto entre eles e a interferência da professora foi fundamental nesse momento, mostrando-lhes que esses erros são comuns e fazem parte do desenvolvimento científico, fazendo-os refletirem sobre como seria a ciência nos dias atuais, se todos os cientistas que existiram tivessem desistido de seus objetivos nas primeiras frustações que sofreram. Esse incentivo deu um novo “gás” aos discentes que, juntamente com a professora, foram em busca de um manômetro que pudesse marcar pressões pequenas.

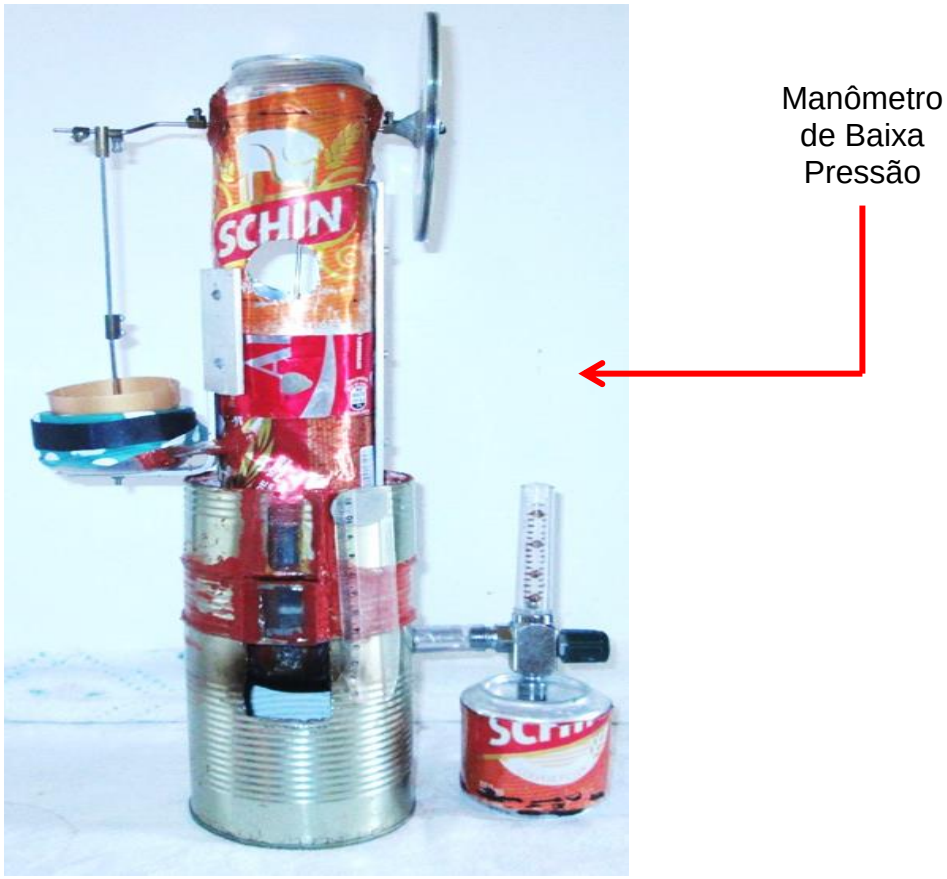
Esta procura não foi fácil, uma vez que esta pesquisa se desenvolveu em uma cidade do interior do Amazonas, que não possui nenhum local especializado para nos vender o material de que estávamos precisando. Então recorremos a todos os locais que consertavam geladeira, mas infelizmente não conseguimos. Quando já estávamos quase desistindo, recebemos a informação de que havia uma pessoa que consertava os aparelhos respiratórios do hospital e lá talvez tivesse este tipo de manômetro. Então fomos até lá. Para nossa felicidade ele realmente tinha o manômetro, mas o valor que ele nos cobrou foi muito alto nos cobrando o preço de R$ 200,00. Saímos da loja desse homem muito tristes, pois não tínhamos esse valor. Daí pensamos em como poderíamos arrecadar este dinheiro para comprarmos o manômetro e darmos continuidade a nossa pesquisa.

A alternativa que encontramos foi promover uma rifa com para arrecadarmos o dinheiro. Fizemos a rifa e conseguimos o dinheiro. O momento mais interessante foi ver a mobilização dos discentes para conseguir os prêmios da rifa e para vendê-las. Eles não mediram esforços para conseguirmos o dinheiro necessário para compramos o manômetro e continuarmos nossa pesquisa. Outros alunos que não faziam parte das turmas em estudo se sensibilizaram e ajudaram muito tanto para arrecadarmos os brindes como para a venda da rifa. A participação de todos foi fundamental. Quando conseguimos o dinheiro, ficamos muito felizes e logo em seguida fomos comprar o manômetro. Ao chegarmos lá, negociamos e conseguimos um desconto de R$ 50,00 e o manômetro no final nos custou R$ 150,00.

Logo após adquirirmos o manômetro, fomos instal[a-lo em nosso protótipo do Motor Stirling e ficamos torcendo para que dessa vez ocorresse tudo certo e

pudéssemos obter os dados necessários para a construção do diagrama do ciclo deste motor. Encaixamos o manômetro e finalmente conseguimos aferir os valores da pressão que ocorria dentro do cilindro de aquecimento desse motor. Em seguida, iniciamos as filmagens para verificar se era possível observar ao mesmo tempo a marcação da variação da pressão através do manômetro e a variação do volume com o deslocamento do êmbolo. Depois de muitos testes, conseguimos ver que era possível fazer as filmagens e que os dados poderiam ser extraídos com êxito. Então já podíamos levar este protótipo (figura 15) para sua utilização pelos demais discentes.

Figura 15: Segundo protótipo do Motor Stirling com o manômetro para pequenas pressões.



Fonte: A própria autora.

No momento em que a professora informou aos discentes que estava tudo certo e pronto para o uso, a felicidade que os discentes demonstraram foi gratificante. Eles sentiam que haviam conseguido ter sucesso, apesar de todas as dificuldades. E perceberam a importância de todo o empenho e obstinação que

tiveram e passaram a compreender e a valorizar o trabalho que tem os pesquisadores.

Atividade Extraclasse 2 – Apresentação dos resultados da pesquisa

Depois de aplicarmos toda a sequência didática, decidimos que deveríamos divulgar a pesquisa para que outras pessoas se interessassem por ela e para que os alunos pudessem testar seus conhecimentos verificando se realmente aprenderam o tema máquinas térmicas e se saberiam transmitir tal conhecimento para outras pessoas.

A oportunidade surgiu com a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia do ano de 2015, pois o Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá em Tefé – Amazonas, promoveu uma feira de ciências onde exporia os trabalhos realizados pelo instituto e pelas escolas do município. Então nos inscrevemos e, no dia 23 de outubro de 2015, apresentamos os resultados desta pesquisa e do trabalho coletivo dos estudantes (figura 16 a e b).

Figura 16. Apresentação dos resultados obtidos na Semana Nacional de Ciência e Tecnologia no Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá pelos alunos envolvidos na pesquisa.

16(a)

16(b)

Fonte: A própria autora. Observação: os alunos que aparecem na foto são maiores de idade e a criança é o filho da pesquisadora.

A apresentação no evento foi muito proveitosa para os alunos, porque puderam demonstrar na prática os conhecimentos adquiridos sobre as Leis Termodinâmicas. Além disso, conseguiram socializar suas experiências, interagindo com o público presente, que, aliás, era bem diversificado em termo de idade, indo da criança ao adulto. Isso despertou neles ainda mais motivação para o estudo do tema em questão.

Durante a apresentação os discentes, comentavam entre eles que percebiam como realmente haviam aprendido aquele conteúdo, já que conseguiram explicar como o motor funcionava em uma linguagem simples para as crianças e em linguagem formal para os pesquisadores que estavam presentes.

A participação deles foi tão favorável que eles foram convidados a dar uma entrevista para o site da instituição, falando sobre a pesquisa. Esse momento significou a consagração dos estudantes por todos os esforços que desempenharam para a realização desta pesquisa.

Os discentes, no final da apresentação, se sentiram muito realizados e felizes de perceber o quanto aprenderam e o quanto foi importante terem participado de todas as aulas desta sequência didática.

CAPÍTULO 11. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Nesta dissertação relatamos uma experiência didática realizada a partir de uma pesquisa desenvolvida no mestrado profissional em ensino de física. O resultado é a elaboração de um guia para orientação do professor, baseado em uma sequência didática. Trata-se de uma proposta para o ensino das 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica e implementada em três turmas do Ensino Médio de uma escola pública do interior do estado do Amazonas.

Ao elaborarmos a sequência sobre as leis termodinâmicas, desde o princípio, pensamos no papel do aluno como protagonista, subvertendo a ordem comumente estabelecida no que se refere aos papeis dos alunos e do professor, em que o professor é o centro do processo de ensino e aprendizagem. Em função de dessa perspectiva, o projeto se desenvolveu como foi descrito e os resultados dele decorrentes buscam, de forma sintética, resgatar o aluno para uma posição de protagonista que torna os processos mais envolventes e produtivos.

No entanto, não nos esquecemos do papel do professor que é de fundamental importância para o desenvolvimento e para o êxito de todas as atividades propostas. O(a) professor(a) que se dispuserem a aplicar a sequência que apresentamos deve ter em mente as dificuldades que poderá enfrentar em virtude dessa inversão do papel de protagonista do processo ensino-aprendizagem, principalmente se esta for a primeira vez que está tentando utilizar um método didático com essas características.

Utilizar esta sequência didática, no primeiro momento, pode gerar certo desconforto e até insegurança especialmente se o(a) professor(a) estudou em uma universidade basicamente tradicional que preconiza o professor como o único detentor do conhecimento, onde este ensina um conteúdo, e, logo em seguida, resolve problemas, com interação mínima e as vezes nenhuma dos alunos.

Porém, em cada atividade que propomos, grupos específicos de alunos são atingidos e o professor tem a sensação de que cada aluno aprendeu aquilo que era capaz de aprender, em função das suas histórias, experiências e saberes anteriores, fazendo com que alguns conceitos fossem mais significativos, enquanto que outros foram aprendidos de forma mais mecânica.

O fato de utilizarmos a teoria sócio-histórica de Vygotsky não significa que apenas essa é a correta e é a que teria um resultado proveitoso, mas pensando-se em questão da realidade da escola onde esta sequência didática foi proposta, tal teoria é a que melhor se adequou nessa busca de resultados, uma vez que os discentes valorizam o reconhecimento da história que deram origem aos acontecimentos e com a análise dos livros didáticos do PNLD – 2012 mostra que em cinco deles apresentava a sugestão para trabalharmos o tema Termodinâmica a partir do contexto histórico.

Apesar de todas as sensações de desconforto e falta de controle, ocorre também sensações de prazer, tanto por parte da professora quanto dos alunos, principalmente por pertenceram de forma sistemática aos processos, métodos e relacionamentos, durante a realização de todas as atividades. Outra característica bastante proveitosa que pode ser identificada foi o envolvimento e comprometimento dos alunos que em aulas tradicionais não era tão efetivo e nessas aulas se tornaram bem atuantes. Ao mesmo tempo em que a duração das aulas foi modificada, para a maioria das aulas, no princípio estipulamos uma quantidade de aulas e durante sua realização ficou bem menor, mostrando que a desenvoltura e o desempenho dos discentes foram favoráveis.

Outros indicadores, embora subjetivos e intangíveis, são, considerados por nós, como relevantes e podem atestar a qualidade desse trabalho, revelando caminhos possíveis para serem trilhados em busca da transformação dos processos, papéis e relações presentes na sala de aula, estão listados a seguir acompanhados de pequenos comentários possibilitando a compreensão de muitas dimensões desse trabalho:

1. Viabilidade – todas as atividades foram desenvolvidas com materiais de fácil acesso e aplicadas no tempo e no espaço de três salas de aula reais, isto é, turmas regulares de uma escola da rede pública, com todas as suas dificuldades e particularidades;

2. Envolvimento – os alunos se mostraram motivados a participar das aulas, não só durante a realização dos experimentos, mas também na construção da linha do tempo, na composição das paródias sobre os ciclos termodinâmicos e na resolução dos exercícios, mas principalmente no momento que precisávamos arrecadar fundos para a construção do protótipo do motor Stirling.

3. Transformação – mesmo diante de toda a rigidez imposta pela realidade da sala de aula e pelos acordos (explícitos ou não) que regem os processos e reforçam a manutenção das coisas como elas são, o projeto encontrou espaço para deslocar o aluno para o centro do processo e elevar o papel do professor para autor e condutor das situações de aprendizagem, percebidos na mudança da pratica do professor pós-projeto e na postura proativa dos alunos;

4. Deferência ao processo de ensino-aprendizagem – a metodologia empregada trouxe consistência ao processo de aprendizagem, pois permitiu, entre tantas outras possibilidades, ao aluno o tempo ideal de maturação das ideias e construção de conceitos de forma mais efetiva, o que ocorreu durante a interação entre os discentes, pois eles puderam trocar seus signos até obterem um signo comum;

5. Criatividade – ela pode ser exercitada na construção da linha do tempo, nas paródias sobre os ciclos termodinâmicos e na construção do protótipo do motor Stirling, em que os alunos puderam expor seu lado criativo para a conclusão destas atividades.

6. Responsabilidade – como os discentes precisavam agir quase que independentemente com pouca interferência da professora, eles passaram a adquirir mais responsabilidade, já que sabiam que o sucesso de todas as suas atividades dependiam apenas deles e que se eles não fossem responsáveis eles não teriam como concluí-las.

7. Reflexão sobre o contexto sócio-histórico – a forma como a teoria sócio-histórica preconiza, que é possível ensinar aos alunos a partir do contexto social e cultural que eles se encontram, pois os discentes, após terem participado de todas as atividades, perceberam que as relações sociais realmente podem interferir nos acontecimentos assim como interfere na aprendizagem.

8. Rendimento escolar – os discentes que tiveram a sequência didática aplicada como elaboramos, apesar de serem o que possuíam o menor índice de rendimento escolar antes de sua aplicação, foram o que apresentaram maior quantidade de desenvolvimento em relação à reformulação dos conceitos, passando-os a elaborar com maior rigor científico, como podemos observar no quadro 5.

Quadro 5: Comparativo da quantidade de acertos entre o pré-teste e o pós-teste.

QUESTÃO	A		B		C	
	PRÉ	PÓS	PRÉ	PÓS	PRÉ	PÓS
1	3%	90%	18%	65%	13%	87%
2	0%	76%	0%	80%	0%	95%
3	2%	90%	9%	87%	7%	87%
4	0%	30%	0%	40%	2%	78%
5	38%	70%	34%	77%	33%	100%
6	19%	80%	11%	89%	12%	80%
7	45%	60%	54%	90%	27%	70%

Por fim, pensamos que outros aspectos poderiam ser analisados ou contemplados nesse trabalho, pois sempre são intimadas as possíveis relações, uma vez que elas dependem também das experiências e história de vida de quem tem contato com ele. Esperamos que os resultados contribuam, ratificando comportamentos semelhantes de professores que também baseiam suas práticas nesses pressupostos, mas também possam provocar outros professores, convidando-os para a reflexão sobre suas práticas, como foi possível para nós, como educadores que investigam seus métodos, processos e escolhas, como elas sempre são e sempre serão responsabilidade do professor que compreende seu papel como autor da sua aula e que a inventa, usando como seus aliados as pesquisas, a reflexão e a intuição.

Vygotsky (1988) diz: “A tarefa do docente consiste em desenvolver não uma única capacidade de pensar, mas muitas capacidades particulares de pensar em campos diferentes; não em reforçar a nossa capacidade geral de prestar atenção, mas em desenvolver diferentes faculdades de concentrar a atenção sobre diferentes matérias”.

Para que isso se torne uma prática, como mostrou nossa pesquisa, o professor mediador deixa de ser apenas um transmissor do conhecimento. Ele passa a caminhar junto e ao lado de seu aluno na interpretação de cada informação do mundo e passa também a ensinar os meios para ela se apropriar de todo aquele aparato de conteúdos.

REFERÊNCIAS

ASTOLFI, Jean Pierre. et. al. **A Didática das Ciências.** 2ª ed. Campinas: Papirus, 1997.

AVANCINI, Marta. **Os novos rumos da avaliação**. Revista Educação – edição 147. Disponível em: <http://revistaeducacao.uol.com.br/formacao-docente/147/artigo234603-1.asp> Acessado em 12/05/2015.

BARRETO FILHO, B.; SILVA, C. X. **Física aula por aula**. Livro do Professor. São Paulo: FTD, 2010.

BISCUOLA, G. J.; VILAS BÔAS, N.; DOCA, R. H. **Física**. Livro do Professor.1. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

BRASIL. Ministério da Educação. **Guia de Livros Didáticos: PNLD 2012 – Física.** Brasília: MEC/SEB, 2011.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCNEM+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares.** Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio.** BRASÍLIA: MEC/SEMTEC, 1999.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. **Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna?** Investigações em Ensino de Ciências, vol.10, n. 3, p. 387-404, 2005. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID136/v10_n3_a2005.pdf>. Acesso em: 21/01/14.

CHEVALLARD, Y. **La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado**. Traducción: Claudia Gilman. Argentina: AIQUE, 1991. 196 p.

CORDEIRO, M. Q.; PEDUZZI, L. O. Q. **Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 3, p. 3602, 2013.

FARIAS, A. J. O. **A construção do Laboratório na Formação do Professor de Física.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 245-251, dez. 1992.

FUKE, L. F.; YAMAMOTO, K. **Física para o ensino médio**. Livro do Professor. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a física.** Livro do Professor. São Paulo: Ática, 2010.

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. **Física e realidade.** Livro do Professor. São Paulo: Scipione, 2010.

HALLIDAY, David. Resnick, Jearl Walker. **Fundamentos de física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica.** Rio de Janeiro: LTC, 2009.

KANTOR, C. A.; et al. Quanta física. Livro do Professor. São Paulo: PD, 2010.

LAKATOS, Eva Maria. Marconi, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. - São Paulo : Atlas 2003.

LAKATOS. Eva Maria, MARCONI. Marina de Andrade. **Referencias bibliográficas. In: Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

LUCIE, Pierre. Física básica. 1 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1980.

LÜDKE, M. ; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MACEDO Elizabeth; LOPES; Alice Casimiro. **A estabilidade do currículo disciplinar: o caso das ciências.** Rio de Janeiro: DP& A, 2002, p. 73-94.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de física.** Livro do Professor. São Paulo: Scipione, 2010.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de Aprendizagem.** São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999

MOREIRA, Marco Antônio; OSTERMANN, Fernanda. **Teorias Construtivistas.** Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1999. (Textos de Apoio ao Professor de Física, v. 10).

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica, 2.** 4ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

OLIVEIRA , Marta Kohl de. **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento um processo sócio-histórico**. São Paulo: Scipione, 1992.

OLIVEIRA, Mário José de. **Termodinâmica.** 1 ed. São Paulo: livraria da Física, 2005.

PIETROCOLA, M**. Inovação Curricular em Física: Transposição Didática de Teorias Modernas e a Sobrevivência dos Saberes**. Projeto Temático FAPESP, São Paulo, 2008.

PIETROCOLA, M.; et al. **Física em contextos: pessoal, social e histórico.** Livro do Professor. São Paulo: FTD, 2010.

POLITZER, Georges. **Princípios elementares de filosofia.** 9. ed. Lisboa: Prelo, 1979. --et al. Princípios fundamentais de filosofia. São Paulo: Hemus, s.d.

REGO, T. C. **Vygotsky: Uma perspectiva histórico-cultural da educação**. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 1996.

RESULTADOS DE DESEMPENHO E PARTICIPAÇÃO SADEAM - 2011, 2012, 2013, 2014 E 2015. Coordenação de Monitoramento e Indicadores - CMI/CAED/UFJF.

RUIZ, João Álvaro. **Metodologia Científica: guia para eficiência nos estudos**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1991.

SANT'ANNA, B.; et al. **Conexões com a física.** Livro do Professor. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2010.

SÃO PAULO. Secretaria de Educação. **Resolução Nº 81, de 16-12-2011.** Disponível em: <http://siau.edunet.sp.gov.br/ItemLise/arquivos/81_11.HTM.> Acessado em 12/05/2015.

SARTORELI, J. C.; HOSOUME, Y.; YOSHIMURA, E. M**. A lei de resfriamento de Newton: introdução às medidas em Física – parte II.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 21, n. 1, p. 116-121, Mar. 1999.

TAILLE, Ives de La; OLIVEIRA, Marta Kohl de; DANTAS, Heloysa. **Piaget, Vygotsky e Wallon: teorias psicogenéticas em discussão.** São Paulo: Summus, 1996.

TORRES, C. M.; FERRARO, N. G. SOARES, P. A. T. **Física: ciência e tecnologia.** Livro do Professor. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2010.

VYGOTSKY, Lev Semenovich. **A formação social da mente. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes**, 1990.

VYGOTSKY, Lev Semenovich. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1989.

VYGOTSKY, Lev Semenovich; LURIA, Alexander Romanovich; LEONTIEV, Alexis N. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem.** São Paulo: Ícone, 1988.

APÊNDICE

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
PROGRAMA NACIONAL DE MESTRADO EM ENSINO DE FÍSICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

MÁQUINAS TÉRMICAS – UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DAS LEIS DA TERMODINÂMICA PARA O ENSINO MÉDIO

(GUIA DO PROFESSOR)

Raysa Zurra Saraiva
&
Igor Tavares Padilha
&
Débora Coimbra

Material instrucional associado à dissertação de Raysa Zurra Saraiva apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física polo 4.

MANAUS – AM
2016

GUIA DO PROFESSOR

MÁQUINAS TÉRMICAS – UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DAS LEIS DA TERMODINÂMICA PARA O ENSINO MÉDIO

ORIENTAÇÕES PARA O PROFESSOR

Caro professor, neste guia será apresentado sequências de atividades dispostas de maneira a tentar facilitar sua aplicação em sala de aula. Apresentamos o tempo aproximado de duração de cada aula, os objetivos da aula, o papel do professor e em seguida nos apêndices, o material disponível para o professor poder reproduzi-lo com os alunos.

Este material descreve uma proposta de ensino da temática Termodinâmica com enfoque as máquinas térmicas. Dentro deste tema foram abordados os seguintes tópicos: temperatura, calor, trabalho, energia, pressão, volume, máquinas térmicas (histórico e conceitos), ciclos e processos Termodinâmicos, primeira e segunda leis termodinâmicas e reversibilidade. Aplicado em turmas do ensino médio de escola pública do estado do Amazonas. Apesar de ter sido aplicado o professor deve fazer as adaptações necessárias conforme a realidade de seu ambiente escolar, tornando-a mais coerente a este. O importante é o professor visar sempre a estrutura original da proposta.

É necessário verificar nos textos, roteiros e aulas às palavras ou termos técnicos que possam gerar dúvidas nos estudantes.

Este material foi produzido considerando-se que os estudantes estão familiarizados com os conceitos de calor, temperatura, condução e convecção de calor.

Além das orientações contidas neste texto, estão disponíveis alguns textos (textos para leitura e discussão) que são necessários para a consecução das atividades aqui presentes.

Boa aula!

Professora Raysa Zurra Saraiva.

SUMÁRIO

UNIDADE 1: TEMPERATURA, CALOR, TRABALHO, ENERGIA, PRESSÃO, VOLUME, MÁQUINA TÉRMICA E REVERSIBILIDADE. (CONCEITOS PRÉVIOS DOS ALUNOS) 6

APÊNDICE A: PRÉ-TESTE..... 7

UNIDADE 2: CONTEXTO HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS.....9

APÊNDICE B – I: TEXTO SOBRE O HISTÓRICO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS. 11

APÊNDICE B – II: GUIA DA LINHA DO TEMPO..... 18

APÊNDICE B – III: IMAGENS DOS INVENTORES E DOS INVENTOS..... 20

UNIDADE 3: CONCEITOS E DEFINIÇÕES SOBRE OS TEMAS: TEMPERATURA E CALOR (REVISÃO), PRESSÃO E VOLUME..... ..44

APÊNDICE C - I: ROTEIRO I - EXPERIMENTO ACERTE A TEMPERATURA..... 45

APÊNDICE C - II: ROTEIRO II - EXPERIMENTO BEXIGA NA SERINGA.....47

UNIDADE 4: CICLOS E PROCESSOS TERMODINÂMICOS 49

APÊNDICE D – I: CICLOS E PROCESSOS TERMODINÂMICOS.....50

APÊNDICE D – II: LISTA COM OS CONTEÚDOS PARA DIVIDIR OS GRUPOS 67

APÊNDICE D – III: FICHA DE AVALIAÇÃO DA MÚSICA..... 68

UNIDADE 5: PRIMEIRA E SEGUNDA LEIS TERMODINÂMICAS 69

APÊNDICE E – I: ROTEIRO III – EXPERIMENTO DIAGRAMA DO MOTOR STIRLING 70

APÊNDICE E – II: MANUAL PARA CONSTRUÇÃO DA PLANILHA DO LIBREOFFICE CALC..... 75

UNIDADE 6: PRIMEIRA E SEGUNDA LEIS TERMODINÂMICAS..... 83

APÊNDICE F – I: CONTEÚDO DE REVISÃO - TERMODINÂMICA 84

APÊNDICE F – II: LISTA DE EXERCÍCIOS..... 87

UNIDADE 7: TEMPERATURA, CALOR, TRABALHO, ENERGIA, PRESSÃO, VOLUME, MÁQUINA TÉRMICA, REVERSIBILIDADE, CICLOS E PROCESSOS TERMODINÂMICOS E 1ª E 2ª LEIS TERMODINÂMICAS.....102

APÊNDICE G: PÓS-TESTE.....103

MANUAL PARA A CONSTRUÇÃO DO MOTOR STIRLING..... 107

UNIDADE 1

TEMPERATURA, CALOR, TRABALHO, ENERGIA, PRESSÃO, VOLUME, MÁQUINA TÉRMICA E REVERSIBILIDADE. (CONCEITOS PRÉVIOS DOS ALUNOS)

- **Duração da Unidade:** 1 aula aproximadamente 50 min.

- **Objetivos da Unidade**: averiguar os conceitos prévios dos discentes a respeito dos temas: temperatura, calor, trabalho, energia, pressão, volume, máquina térmica e reversibilidade.

- **Papel do professor:**

Esta primeira unidade objetiva-se conhecer alguns conceitos prévios dos alunos sobre os temas: temperatura, calor, trabalho, energia, pressão, volume, máquina térmica e reversibilidade para que ao final da sequência de ensino sobre as Leis Termodinâmicas possamos verificar se tais conceitos foram aprofundados e/ou desenvolvidos os conhecimentos técnico-científicos minimamente necessários para argumentar com desenvoltura sobre o assunto.

Nesta etapa o professor apenas deve solicitar aos alunos que eles respondam o questionário da forma mais “sincera” possível sobre o que eles realmente conhecem que tenham cuidado ao escrever e que não utilize nenhuma forma de consulta, nem material didático (livros, internet, etc), nem os colegas.

Assim o professor e os alunos organizam a sala de aula em fileiras, entregando um questionário para cada. O questionário segue abaixo.

Lembre-se de deixar os alunos bem “à vontade” para escrever, sem fazer aquela “pressão psicológica” comum de provas, tranquilize-os de que este questionário será apenas uma forma de você (professor) verificar se realmente eles aprenderão os conteúdos que serão estudados.

Observação: se sua turma for dispersa (com dificuldade de concentração), você poderá dizer que ao final das atividades atribuirá nota a este questionário, assim talvez facilite sua resolução de maneira mais objetiva.

ESCOLA: _____

PROFESSOR(A):_____

ALUNA(O): _____ SÉRIE/TURMA _____

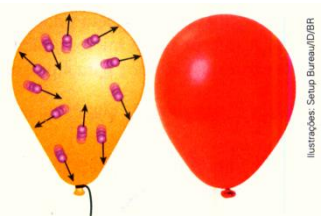
QUESTIONÁRIO DE PRÉ-TESTE

1. Considere o exemplo: quando se coloca uma lata de refrigerante, à temperatura ambiente, em contato com gelo em um recipiente de isopor, a intenção é resfriar a bebida. Em consequência o gelo começa a derreter. Observe a figura ao lado.

Com base no enunciado, e na figura, será que existe diferença entre **calor** e **temperatura?** Se você considerar que há diferenças, explique utilizando suas palavras, e se possível dê exemplos.

2. A cena retratada ao lado é de uma menina puxando um carrinho com um menino e um cachorro. Durante o deslocamento, a menina se cansa, pois transfere energia para o carrinho. A energia transferida pode ser calculada através de uma grandeza física que ela aplica no carrinho para movimentá-lo. Que grandeza física seria essa? Dê exemplos de outras aplicações desta grandeza.

3. A forma de um balão de borracha vazio não se mantém definida. Esse mesmo balão, entretanto, quando cheio de um gás, adquire forma definida. Microscopicamente, de acordo com o modelo molecular do gás, as moléculas de um gás estão em constante



movimento e colidindo entre si e com as paredes de qualquer recipiente que as contenha. São essas colisões que mantém o balão inflado (esquema ao lado). Deste modo, podemos definir pressão como a resultante das inúmeras colisões das partículas com o recipiente. E numericamente temos que a pressão é a força dividida pela área, assim: $P = \frac{F}{A}$.

A partir do enunciado acima, se você fosse cortar uma maçã, qual seria a faca utilizada? Justifique sua resposta.

a) Uma faca com a lâmina afiada em forma de um trapézio →

b) Uma faca com a lâmina afiada em forma de um triângulo →

4. No seu entendimento o que viria a ser uma máquina térmica?

5. Observando um motor de uma moto (figura ao lado), como você acredita que este funcione?

6. Considerando que uma cozinha está isolada, para não haver trocas de calor, esta poderia ser resfriada apenas deixando aberta a porta de uma geladeira? Explique.

7. Sabendo que processos **reversíveis** são aqueles nos quais o sistema retorna espontaneamente à situação inicial, ou seja, são aqueles processos que podem ser revertidos de forma natural. Dentre os fenômenos descritos a seguir, marque com um (**X**) aquele(s) que são **reversível(is)**?

a. ( ) A quebra de uma garrafa vazia;

b. ( ) A mistura de um coquetel;

c. ( ) O derreter de um cubo de gelo em um copo de refrigerante;

d. ( ) A queima de um pedaço de lenha;

e. ( ) Acabar a “Sinfonia Inacabada”;

f. ( ) A perfuração de um pneu;

g. ( ) Escrever um livro.

UNIDADE 2

CONTEXTO HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS

- **Duração da Unidade:** 3 aulas totalizando aproximadamente 150 min (50 min cada aula).

- **Objetivos da Unidade**: reconhecer o aspecto histórico do desenvolvimento das máquinas térmicas e relacioná-lo com o contexto cultural, social, político, econômico e filosófico da época.

- **Papel do professor:**

Nesta etapa os alunos deverão construir uma linha do tempo para melhor compreensão do processo de evolução do conhecimento científico, neste caso das máquinas térmicas, levando-os a refletir sobre os conceitos físicos envolvidos nas leis termodinâmicas e sobre as pessoas (cientistas) que foram responsáveis por este desenvolvimento percebendo que estas teorias, máquinas, foram concebidas por pessoas “normais” similares a eles.

A turma deve ser dividida em três grupos, a quantidade de alunos em cada grupo vai variar de acordo com o número de alunos da turma.

Cada grupo deve receber o texto sobre o histórico das Máquinas Térmicas (I), uma guia da linha do tempo (II), e as imagens correspondentes ao inventor e ao invento de cada máquina (III). (Apêndice B – I, II e III). O texto sobre o histórico das Máquinas térmicas apresentado no apêndice é uma adaptação do original que foi retirado do site SEARA DA CIÊNCIA, curiosidades da física e foi escrito por José Maria Bassalo, disponível em: http://www.seara.ufc.br/folclore/folclore246.htm

Observação: Na realidade escolar onde foi aplicada esta sequência foi necessário entregar as imagens do inventor e do invento de cada máquina, pois o acesso a internet é difícil e muito caro, mas onde for possível poderá ser solicitado aos alunos que façam essa pesquisa extraclasse e depois tragam as imagens para serem utilizadas em sala de aula.

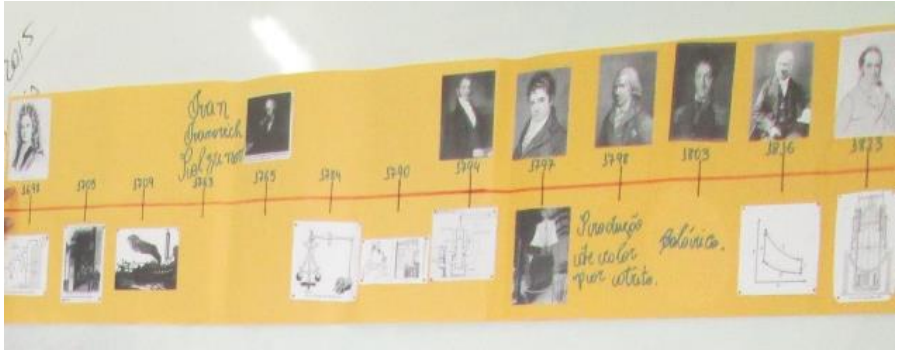
Os materiais necessários para confeccionar a linha do tempo que devem ser solicitado aos discentes trazerem para esta aula são:

- Pincel para desenhar;
- Papel madeira (6 folhas);
- As imagens de cada inventor e invento.
- Cola Isoarte ou de isopor;
- Fita adesiva transparente;

No momento de confeccionar a linha do tempo os alunos devem traçar uma linha reta onde deverão escrever as datas, e posteriormente deverão ser colados as imagens.

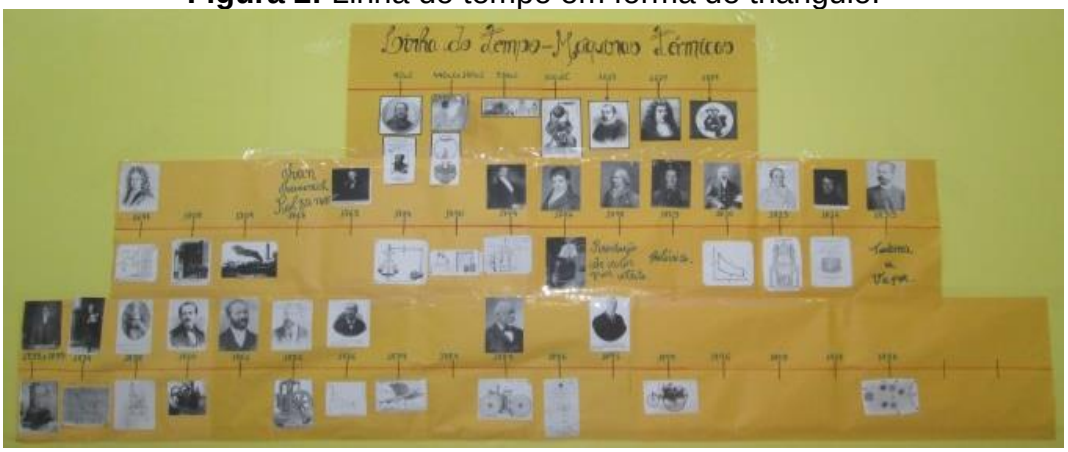
A linha do tempo pode ser em forma de reta ou em forma de triângulo conforme figura 1 e 2 respectivamente abaixo.

Figura 1: Linha do tempo reta.



Fonte 1: própria autora.

Figura 2: Linha do tempo em forma de triângulo.



Fonte 2: própria autora.

APÊNDICE B – I

TEXTO SOBRE O HISTÓRICO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS

Tentaremos descrever algumas datas e filósofos que começaram a construir e/ou utilizar a diferença de temperatura para produzir movimento resultando no desenvolvimento das máquinas térmicas e posteriormente na elaboração das Leis Termodinâmicas.

O grego Teodoros em aproximadamente 530 a.C. foi o primeiro a utilizar o poder de expansão do ar quente ao introduzir um sistema de aquecimento central no mais famoso templo construído em Éfeso, na Ásia, para homenagear a *Deusa Diana*.

Por volta dos anos 490 a.C. e 250 a.C., os fenômenos sobre a expansibilidade térmica do ar também foram objeto de estudo por parte dos gregos, tais como o filósofo Empédocles da Akragas, o físico Estratão de Lâmpsaco e o engenheiro Philon de Bizâncio. Este descreveu um aparelho que demonstrava a relação entre a expansão do ar e a variação de temperatura, que é considerado como o precursor do termômetro.

Nas primeiras décadas da Era Cristã (I. d.C.), o engenheiro grego Heron de Alexandria, em sua obra intitulada Pneumática, descreveu um dispositivo semelhante ao de Philon, bem como apresenta, também, a descrição de uma máquina a vapor – a *Eolípila*, uma esfera oca com dois tubos recurvados e presos na mesma. Fervendo então a água contida na esfera, o vapor d´água resultante, ao escapar pelos tubos, fazia a mesma girar. Observe-se que esse dispositivo já havia sido rudimentarmente descrito pelo arquiteto romano Marcus Vitrivus Pollio, em seu tratado De Architectura, escrito por volta de 40 a.C.

Somente quinze séculos depois, em 1615, o engenheiro francês Salomon de Caus publicou o livro intitulado Les Raisons des Forces Mouvantes ("As Razões das Forças Moventes") no qual descreveu um sistema, baseado nas ideias de Heron, que poderia ser usado para elevar água por meio do fogo. Muito mais tarde, em 1679, o médico e físico francês Denis Papin inventou o *digestor de calor* (hoje conhecida como *panela de pressão*). Em 1689, Papin inventou uma *bomba centrífuga*, que era uma máquina a vapor destinada a elevar água de um canal entre as cidades alemãs Kassel e Karlshaven. Um ano depois, em 1690, ele escreveu o

artigo intitulado *De Novis Quibusdam Machinis* (“Um Novo Tipo de Máquina”) no qual descreveu o funcionamento da *bomba centrífuga*. Ainda nesse artigo, apresentou sua teoria, ainda imperfeita, de uma máquina funcionando pelo jogo alternativo de um êmbolo. Essa teoria resultou de sua observação de que a água fervida, colocada em um tubo oco, faria com que o vapor resultante deslocasse uma espécie de êmbolo colocado na outra extremidade do tubo.

No final do Século 17, depois de praticamente desmatar sua floresta, a Inglaterra passou a usar o carvão mineral como fonte de energia. Em vista disso, em 1698, o inventor e engenheiro inglês Thomas Savery desenvolveu um tipo de máquina a vapor, que era um dispositivo que produzia vácuo pela condensação de vapor d´água. Tal dispositivo, ao ser conectado com um tubo longo e mergulhado no interior de uma mina de carvão alagada, aspirava água devido à formação do vácuo. Por essa razão, esse dispositivo (que foi patenteado por Savery) ficou conhecido como o *amigo do mineiro*.

Por apresentar muitas limitações, principalmente quando envolvia pressões altas (acima de oito atmosferas), a máquina de Savery foi aperfeiçoada pelo inventor e engenheiro inglês Thomas Newcomen, em 1705, ao construir cilindros polidos nos quais pistões (êmbolos) se ajustavam. Em 1705, Leibniz enviou para Papin um esquema da máquina de Savery que conseguia elevar água. Como já havia trabalhado nesse problema, esse esquema o estimulou a continuar seus estudos sobre esse tipo de máquina. Assim, em 1707, Papin escreveu o livro Ars Nova ad Aquam Ignis Adminiculo Efficacissime Elevandum (“Uma Nova Maneira de Bombear Água Usando Vapor”) no qual apresentou suas ideias sobre a máquina a vapor, inclusive com a descrição de válvulas de segurança para evitar acidentes. Note-se que, em 1709, Papin construiu o primeiro barco a vapor [baseado no movimento de um êmbolo (pistão) devido ao vapor] com pás propulsoras ao invés de remos. A primeira máquina a vapor com dois cilindros foi projetada pelo mecânico e inventor russo Ivan Ivanovich Polzunov, em 1763. Ela foi construída no dia 30 de maio de 1766, três dias antes de ele morrer.

O engenheiro escocês James Watt (1736-1819), em maio de 1765, inventou o *condensador* – um dispositivo isolado para resfriar o vapor d´água – e adaptou à máquina de Newcomen. Em 1769, Watt patenteou sua invenção e começou a comercializá-la. Além disso, continuou o seu aperfeiçoamento. Por exemplo, em

1782, ele simplesmente abandonou o uso da pressão atmosférica para baixar os pistões, e passou, então, a utilizar o próprio vapor para realizar essa tarefa. Desse modo, o vapor entrava alternativamente nas duas extremidades do pistão, e este, portanto, tanto empurrava quanto aspirava o vapor. Em vista disso, esse seu novo invento ficou conhecido como máquina de ação dupla. Logo depois, em 1783, Watt introduziu a definição de *cavalo-vapor* (CV - "horse-power" – HP), ao usar um robusto cavalo e mostrar que ele poderia elevar à altura aproximada de 1,20 m, um peso de 68 kg em um segundo. Hoje, essa unidade de *potência*, no sistema Metro-Kilograma-Segundo (MKS), recebe o nome de *watt*, em sua homenagem.

Um ano depois, em 1784, Watt inventou o *regulador centrífugo* que, automaticamente, controlava a produção de calor de suas máquinas. Por fim, em 1790, Watt completou a invenção da hoje máquina a vapor de Watt incorporando a ela um *medidor de pressão*.

Uma nova ideia sobre a aplicação prática do vapor d´água foi apresentada pelo engenheiro e inventor norte-americano Robert Fulton (1765-1815). Com efeito, em 1797, ele propôs ao governo do Imperador Napoleão Bonaparte (1769-1821) a construção de um submarino movido a vapor – o *Nautilus* -, para que o mesmo pudesse ser usado na guerra contra a Inglaterra. Essa ideia, contudo, foi rejeitada por aquele governo. No entanto, como ele voltou a insistir nesse projeto, agora junto ao Ministro da Marinha Francesa, Napoleão deu-lhe então a concessão para construir o primeiro submarino a vapor - o *Nautilus*, que ficou pronto em 1800.

As máquinas a vapor vistas acima apresentavam uma eficiência (rendimento) muito baixa, cerca de 5 a 7 por cento. Em vista disso, em 1803, o general e engenheiro militar francês Lazare Nicolas Marguerite Carnot estudou essa deficiência denominada por ele de *força viva virtual*, usando o conceito de *energia potencial.*

O estudo do rendimento da máquina a vapor iniciado por Carnot, em 1803, foi retomado por seu filho, o físico francês Nicolau Léonard Sadi Carnot, e apresentado em seu livro intitulado Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propes à Devélopper cette Puissance ("Reflexões sobre a Potência Motriz do Fogo e sobre as Máquinas Próprias para Desenvolver essa Potência"), publicado em 1824. Nesse livro, Carnot descreve uma máquina ideal, sem atrito, que realiza um ciclo completo, de modo que a substância usada – vapor, gás ou outra

qualquer – é levada de volta a seu estado inicial. Desse modo, Carnot afirmou: - *A potência motriz do fogo (calor) é independente dos agentes empregados para produzi-la; sua quantidade é determinada somente pelas temperaturas dos corpos entre os quais, no resultado final, ocorre a transferência do calórico*. Nesse ciclo, mais tarde conhecido como *ciclo de Carnot*, o calórico era transformado em "força mecânica" e essa transformação dependia apenas da diferença de temperatura absoluta entre a da *fonte quente* (caldeira: T_1) e a da *fonte fria* (condensador: T_2). É oportuno notar que a *potência motriz do fogo* usada por Carnot é hoje denominada de *rendimento* (η), dada por: $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$.

Ao comparar a "queda" do calórico em sua máquina com a queda da água em uma caixa d´água, e ao considerar o fato de que essa água pode voltar à sua caixa por intermédio de uma bomba, Carnot concluiu que sua máquina poderia trabalhar de modo *reversível*, isto é, ora deixando o calórico "cair" da fonte quente para a fonte fria, ora "subindo" da fonte fria para a fonte quente. Havia, no entanto, uma pergunta intrigante, qual seja: como era que a conservação do calórico nesse processo *reversível* se coadunava com a conservação do calórico nos processos *irreversíveis* como, por exemplo, a produção de calor por atrito nas famosas experiências (medição da quantidade de pó metálico e de calor (calórico) resultante do perfuramento das peças de canos de canhões dentro d'água), realizadas pelo físico anglo-norte-americano Sir Benjamin Thompson, Conde de Rumford (1753-1814), em 1798 e 1799. Carnot estava consciente dessas dificuldades tanto que, em 1832, em uma série de notas escritas pouco antes de morrer (sua morte ocorreu ainda em 1832) e publicadas após sua morte, descreveu novas experiências nas quais procurava determinar o *equivalente mecânico do calor*, pois começara a desconfiar da "materialidade" do calórico.

A máquina de Carnot foi estudada pelo físico francês Benoit-Pierre-Émile Clapeyron (1799-1864), em 1834 (*Journal de l´École Polytecnique* 14, p. 190), ocasião em que o *ciclo de Carnot* foi pela primeira vez representado graficamente (hoje, esse gráfico é conhecido como *diagrama P-V*) por duas transformações *isotérmicas* (que mantém a temperatura constante) e por duas *adiabáticas* (que mantém a troca de calor constante). De posse desse gráfico e de sua famosa Equação dos Gases Perfeitos, Clapeyron demonstrou, matematicamente, que a produção de *trabalho* na máquina de Carnot dependia somente da diferença de

temperatura absoluta entre os reservatórios térmicos considerados por Carnot. E mais ainda, que a máquina e o gás utilizado na mesma retornavam ao seu estado inicial, no final de cada ciclo, com o calórico sendo conservado nesse ciclo.

O motor Stirling foi inventado em 1816, pelo pastor escocês Robert Stirling, auxiliado por seu irmão engenheiro. O objetivo foi construir um mecanismo mais seguro em relação ao motor a vapor, pois eram constantes as explosões trágicas ocorridas com as precárias caldeiras da época. O motor Stirling funciona com pressões relativamente baixas, usando de ar (ou outro tipo de gases) confinado no interior do motor, proporcionando maior segurança.

Entre 1833 e 1835, os engenheiros industriais e inventores russos Yefim Alekseyevich Cherepanov (1774-1842) e seu filho Miron Yefimovich Cherepanov (1803-1849) construíram as primeiras locomotivas a vapor russas. Em 1837, eles também construíram, na Rússia, a primeira *estrada de ferro*, que ia de uma de suas fábricas, localizadas no vilarejo de Nizhny Tagil, até uma mina de cobre.

Agora, vejamos outros tipos de máquinas térmicas. Primeiramente, tratemos do motor de combustão interna (MCI). Segundo nos conta o escritor norte-americano Tom Philbin, o primeiro MCI deve-se ao engenheiro inglês Robert Street, com sua patente inglesa que lhe foi concedida em 1794. Seu MCI consistia em um cilindro com um pistão conectado a um braço de articulação que operava uma bomba d´água simples. O cilindro – envolvido em um tubo de resfriamento com água – estendia-se até um forno que o aquecia até atingir a temperatura na qual uma mistura de ar e combustível líquido entrava em ebulição. É oportuno destacar que, antes de usar combustível líquido (por exemplo, álcool e derivados do petróleo), as máquinas térmicas usavam gases expelidos pela ignição de pólvora.

O motor Street foi sendo cada vez mais aperfeiçoado. Por exemplo, em 04 de dezembro de 1823, o engenheiro inglês Samuel Brown obteve a patente inglesa de um motor a gás. Por essa mesma época, conforme vimos acima, o francês de la Tour construiu também um motor a gás. Mais tarde, em 1838, o engenheiro inglês William Barnett construiu o primeiro motor de dois tempos (MCI-2T) (“two-stroke”) usando uma bomba externa de ar e combustível. Em 1860, o engenheiro francês Jean Joseph Étienne Lenoir (1822-1900) patenteou MCI-2T que utilizava válvulas tubulares deslizantes e tendo o gás de iluminação como seu principal combustível. Mais tarde, em 1872, o engenheiro norte-americano George Brayton (1830-1892)

também patenteou um MCI-2T que possuía um cilindro para compressão, uma câmara de combustão, e um cilindro separado no qual os produtos do querosene, usado como combustível, se expandiam.

Uma inovação importante no MCI aconteceu, em 1862, quando o engenheiro francês Alphonse Eugène Beau de Rochas (1815-1893) patenteou o princípio do MCI com um “ciclo de quatro tempos” (MCI-4T). Contudo, somente em 1876, o engenheiro alemão Nikolaus August Otto (1832-1891) construiu o MCI-4T proposto por Beau de Rochas. Nesse tipo de motor, uma mistura de gás de carvão (usados nas cidades) com ar era queimada formando gases quentes, que se expandem rapidamente e empurram os pistões do motor, levando-os a mover-se em quatro tempos – o famoso *ciclo Otto* - composto de: 1) *admissão* ou *aspiração*; 2) *compressão*; 3) *combustão*; 4) *explosão*. Otto obteve a patente norte-americana (*USPatent*:178.023) de seu invento, em 30 de maio de 1876. Por sua vez, em 1879, o engenheiro russo Ogneslav Stefanovich Kostovich (1851-1916) começou a construir um motor Otto que funcionaria com combustível líquido leve, e que foi concluído em 1883. Em 1885, ele construiu um modelo mais aperfeiçoado com a potência de 60-80 HP, e que pesava 240 kg. Essa MCI, que tinha oito cilindros (pistões) distribuídos em duas colunas de quatro, foi patenteada em 1888 pelo governo russo. É oportuno destacar que, posteriormente, a aviação russa foi desenvolvida usando cilindros horizontais.

Um outro tipo de máquina térmica foi construído pelo engenheiro sueco Carl Gustav Patrik de Laval (1845-1913), em 1883. Trata-se da turbina a vapor (de impulsão e de reação), que atingia a velocidade angular de 42.000 rotações por minuto (rpm), e usada como desnatadeira (máquina para desnatar, isto é, tirar nata ou gordura do leite). Na turbina de impulsão, um fluido de alta pressão e baixa velocidade é dirigido por intermédio de um esguicho (“nozzle”) fixo às palhetas do rotor; na turbina de reação, o esguicho é preso no próprio motor. Logo depois, em 1884, o engenheiro inglês Sir Charles Algernon Parsons (1854-1931) inventou a turbina a vapor constituída de múltiplos estágios, formada de uma série de rodas no mesmo eixo, que giravam a 18.000 rpm. Nessa turbina, o vapor passava de uma roda para a outra, rodas essas que aumentavam de diâmetro à medida que a pressão do vapor diminuía. Desta maneira, cada roda absorvia parte da energia do vapor. Somente em 1896, o inventor norte-americano Charles Gordon Curtis (1860-

1953) patenteou a turbina a vapor com muitos conjuntos de rodas. É oportuno notar que Curtis, em 1899, patenteou a primeira turbina a gás.

Novas ideias sobre os MCI foram apresentadas a partir de 1885. Com efeito, logo em 1885, o engenheiro alemão Gottlieb Wilhelm Daimler (1834-1900) patenteou o primeiro MCI no qual usou vapor de gasolina em lugar de gás de carvão, cuja ignição, diferente da chama permanente como Otto fizera, em 1876, era feita com um sistema de *ignição elétrica*. Ao adaptar esse motor a uma bicicleta, Daimler inventou a primeira motocicleta. Por sua vez, em 26 de janeiro de 1886, o engenheiro alemão Karl Friedrich Benz (1844-1929) patenteou o primeiro automóvel triciclo, dotado de um MCI-Daimler. Mais tarde, em 1892, o engenheiro alemão Rudolf Christian Karl Diesel (1858-1913) patenteou o hoje famoso *ciclo Diesel*, no qual a temperatura e a pressão no cilindro de um motor Otto eram mantidas constantes durante a combustão; desse modo, muito mais calor era assim criado e que se transformava em energia. Um ano depois, em 1893, Diesel construiu o primeiro MCI usando o ciclo que havia idealizado, usando, no entanto, óleo pesado ao invés de gasolina. Ainda em 1893, Benz construiu o primeiro automóvel tetraciclo, dotado de um MCI-Otto-Daimler. Por fim, em 1913, o engenheiro norte-americano Henry Ford (1863-1947) introduziu a *montagem em linha de produção* em sua fábrica de automóveis, movidos por MCI.

É oportuno destacar que os famosos irmãos norte-americanos Wright [Orville (1871-1948) e Wilbur (1867-1912)] construíram um MCI, com quatro cilindros em linha, tendo como combustível a gasolina, e usaram-no em seus primeiros voos aéreos, em 1903.

Na conclusão é interessante destacar que a *fissão nuclear* descoberta em 1938, substituiu o combustível (inicialmente sólido e depois líquido) para vaporizar a água nas máquinas (usinas) térmicas, resultando nas hoje conhecidas usinas nucleares.

APÊNDICE B – II

GUIA DA LINHA DO TEMPO

1 – 490 a.C. e 250 a.C., Empédocles da Akragas, Estratão de Lâmpsaco e Philon de Bizâncio → precursor do termômetro.

2 – 530 a.C. →Teodoros → templo para a *Deusa Diana*.

3 – 40 a.C. → Marcus Vitrivus Pollio → De Architectura

4 – 100. d.C. → Heron de Alexandria → máquina a vapor – a *Eolípila*

5 – 1615 → Salomon de Caus → Les Raisons des Forces Mouvantes

6 – 1679 → Denis Papin → *digestor de calor* (*panela de pressão*).

7 – 1689 → Denis Papin → *bomba centrífuga*.

8 – 1698 →Thomas Savery → máquina a vapor, o *amigo do mineiro*.

9 – 1705 → Thomas Newcomen → a máquina de Newcomen

10 – 1709 → Papin → barco a vapor

11 – 1763 → Ivan Ivanovich Polzunov → máquina a vapor com dois cilindros

12 – 1765 → James Watt → *condensador*

13 – 1784 → Watt → *regulador centrífugo*

14 – 1790 → Watt → máquina a vapor de Watt

15 – 1794 → Robert Street Agora → motor de combustão interna (MCI) - motor Street.

16 – 1797 → Robert Fulton → *Nautilus*

17 – 1798 e 1799 → Benjamin Thompson → experiência medição do calórico

18 – 1803 → Lazare Nicolas Marguerite Carnot

19 – 1816 → Robert Stirling → motor stirling – Ciclo Stirling

20 – 1823 → Samuel Brown → motor a gás.

21 – 1824 → Nicolau Léonard Sadi Carnot → livro intitulado Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propes à Devélopper cette Puissance – Ciclo de Carnot

22 – 1833 → Carl Gustav Patrik de Laval → turbina a vapor (de impulsão e de reação)

23 – 1833 e 1835 → Yefim Alekseyevich Cherepanov e Miron Yefimovich Cherepanov → locomotivas a vapor

24 – 1834 → Benoit-Pierre-Émile Clapeyron → Relação entre calor e trabalho na máquina de calor

25 – 1838 → William Barnett → motor de dois tempos (MCI-2T) (“two-stroke”)

26 – 1860 → Jean Joseph Étienne Lenoir → MCI-2T

27 – 1862 → Alphonse Eugène Beau de Rochas → “ciclo de quatro tempos” (MCI-4T).

28 – 1872 → George Brayton → MCI-2T - cilindro para compressão e querosene.

29 – 1876 → Nikolaus August Otto → MCI-4T – C*iclo Otto*

30 – 1879 → Ogneslav Stefanovich Kostovich → motor Otto

31 – 1884 → Charles Algernon Parsons → turbina a vapor múltiplos estágios.

32 – 1885 → Gottlieb Wilhelm Daimler → motocicleta.

33 – 1886 → Karl Friedrich Benz → automóvel triciclo.

34 – 1892 → Rudolf Christian Karl Diesel → *ciclo Diesel.*

35 – 1893 → Benz → automóvel tetraciclo.

36 – 1896 → Charles Gordon Curtis → turbina a gás.

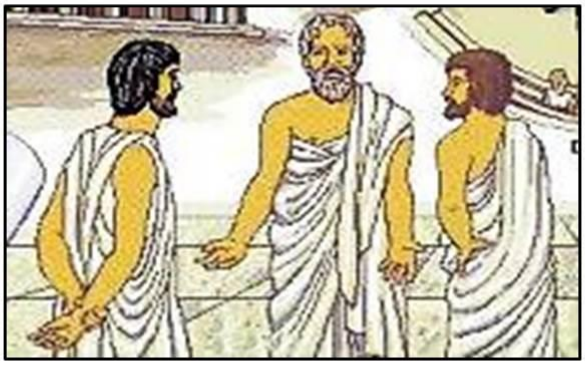
37 – 1903 → irmãos Wright → primeiros voos aéreos.

38 – 1913 →Henry Ford → *montagem em linha de produção*

39 – 1938 → *fissão nuclear* → usinas nucleares.

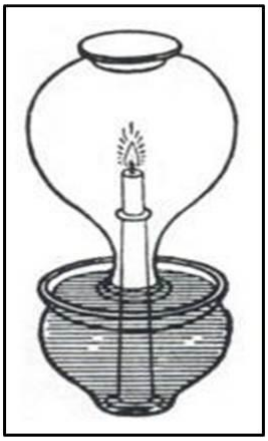
APÊNDICE B – III

IMAGENS DOS INVENTORES E DOS INVENTOS



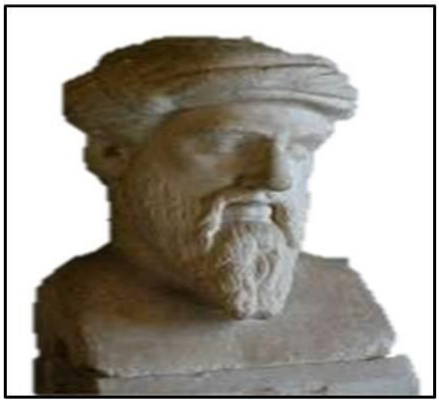
1 – EMPEDOCLES, ESTRATÃO E PHILON

Fonte: http://www.grupoescolar.com/a/b/9174A.jpg



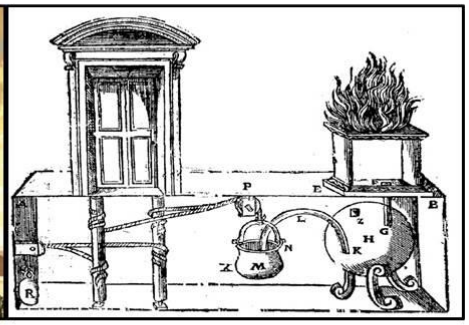
1 – TERMÔMETRO DE PHILON

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen#/media/File:Philos_experiment_of_the_burning_candle.PNG



2 – TEODORO DE SAMOS

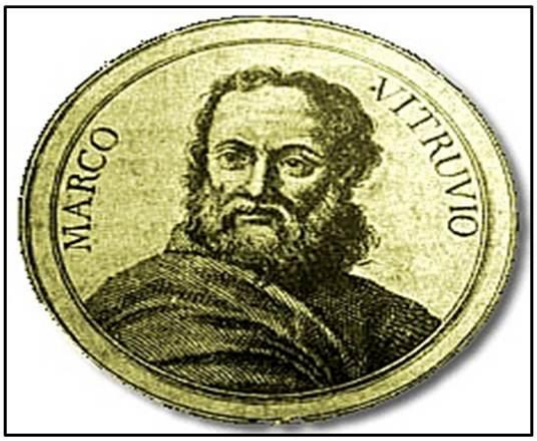
http://m1.paperblog.com/i/211/2112342/noche-que-nacio-filosofia-L-XCNJW1.jpeg



2 – TEMPLO DEUSA DIANA

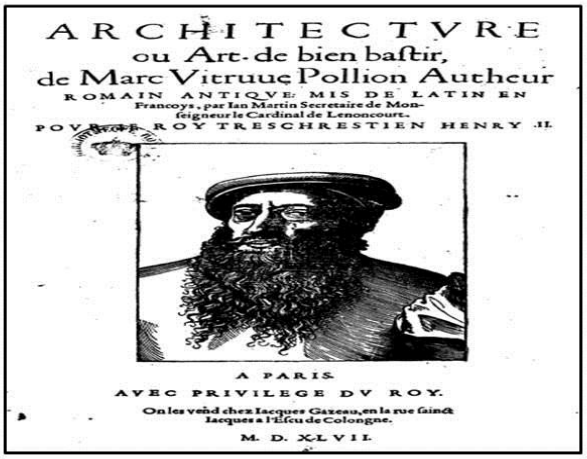
http://www.awn.com/sites/default/files/styles/original/public/image/featured/1016090-syfy-announces-new-scripted-series-olympus.jpg?itok=S20_B0Xw

http://www.maisondelamagie.fr/uploads/Image/62/5770_240_Gravure-de-temple-truque_tire-de-Heron-d-Alexandrie.jpg



3 – MARCO VITRUVIO POLLIO

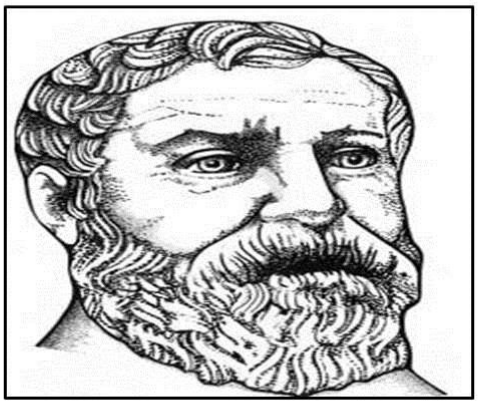
Fonte: http://www.sanatlog.com/wp-content/uploads/2009/01/marco-vitruvio.jpg


ARCHITECTVRE
ou Art de bien bastir,
de Marc Vitruue Pollion Autheur
ROMAIN ANTIQVE MIS DE LATIN EN
Francoys, par Ian Martin Secretaire de Mon-
seigneur le Cardinal de Lenoncourt.
POVR LE ROY TRESCHRESTIEN HENRY .II.

A PARIS.
AVEC PRIVILEGE DV ROY.
On les veïd chez Iacques Gazeau, en la rue Saind
Iacques a l'Escu de Colongne.
M. D. XLVII.

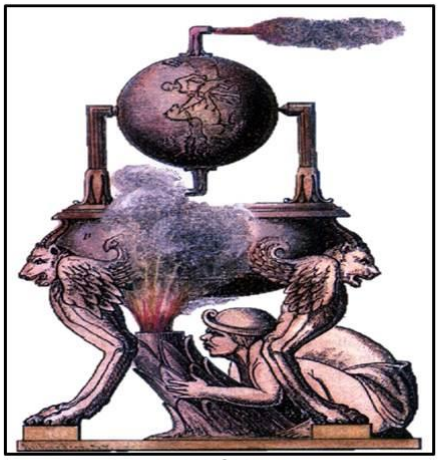
3 – TRATADO DE ARCHITECTURA

Fonte: http://farm6.static.flickr.com/5306/5671669471_7df1a57fb3_m.jpg



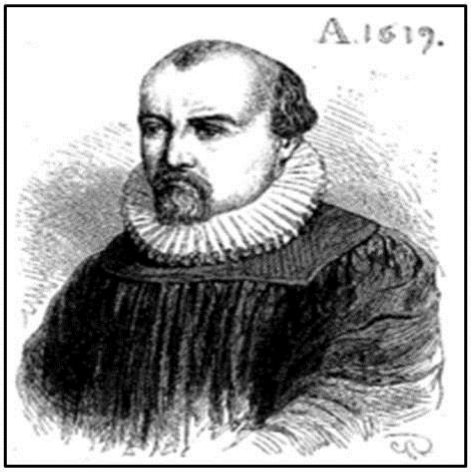
4 – HERON DE ALEXANDRIA

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/ca/Heron.jpeg/200px-Heron.jpeg



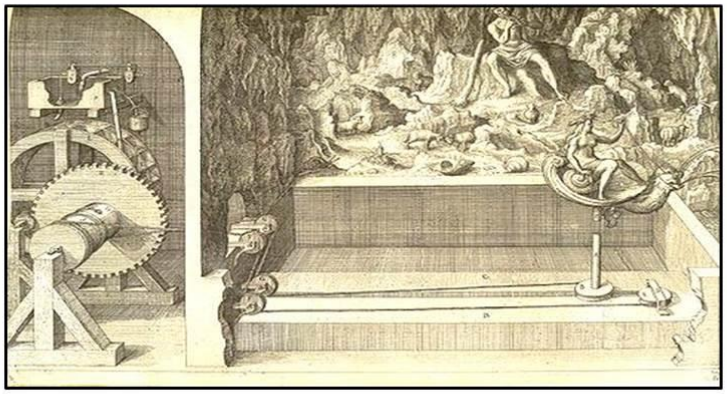
4 – EOLÍPILA

Fonte: Newton, Helou, Gualter. **Física 2**. 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2010.



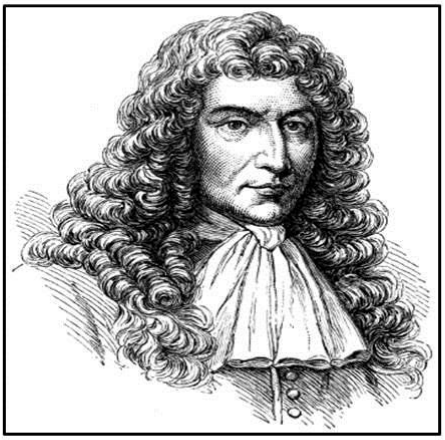
5 – SALOMON DE CAUS

https://de.wikipedia.org/wiki/Salomon_de_Caus#/media/File:Salomon_de_Caus.jpg



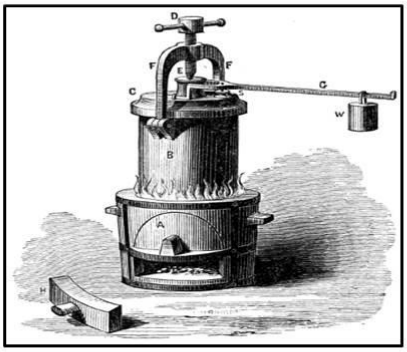
5 – SISTEMA DESCRITO POR CAUS

https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:DeCausWasserspielGalathea.jpg



6 – DENIS PAPIN

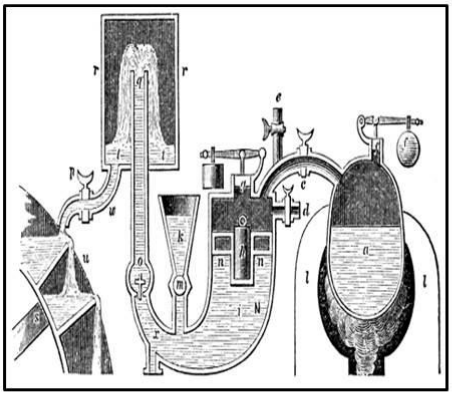
http://www.bookiejar.com/Content/Books/7ccbe2a1-12a9-41fa-a3ff-0f8ebaf40ef6/2928_r1/35916/@public@vhost@g@gutenberg@html@files@35916@35916-h@images@illo073.png

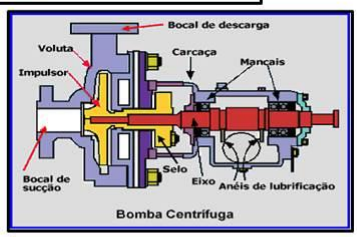


6 – DIGESTOR DE CALOR E PANELA DE PRESSÃO

http://www.bookiejar.com/Content/Books/7ccbe2a1-12a9-41fa-a3ff-0f8ebaf40ef6/2928_r1/35916/@public@vhost@g@gutenberg@html@files@35916@35916-h@images@illo075.png

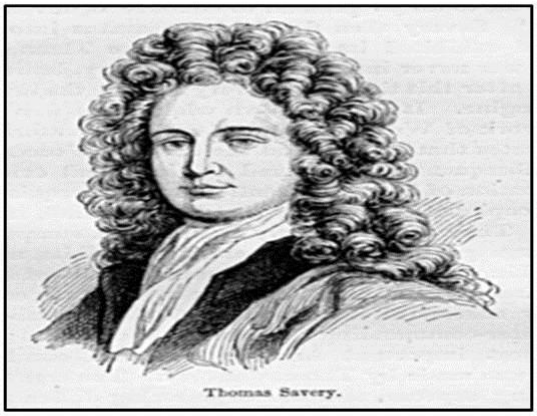
http://www.casasbahia-imagens.com.br/Control/ArquivoExibir.aspx?IdArquivo=3373755





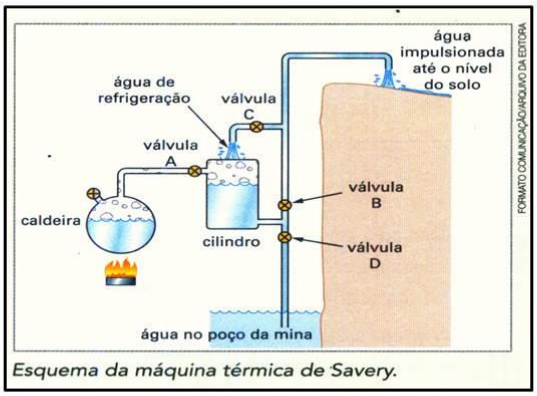
7 – BOMBA CENTRÍFUGA

http://www.bookiejar.com/Content/Books/7ccbe2a1-12a9-41fa-a3ff-0f8ebaf40ef6/2928_r1/35916/@public@vhost@g@gutenberg@html@files@35916@35916-h@images@illo080.png
http://image.made-in-china.com/2f0j10GjSEhNZFkYqs/-Bomba-centr-fuga-industrial.jpg
http://www.ufrnet.br/~lair/Pagina-OPUNIT/bombascentrifugas-2_arquivos/Image160.gif



8 – THOMAS SAVERY

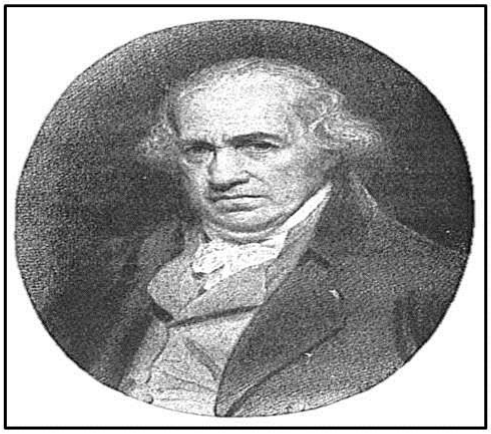
http://library.thinkquest.org/C006011/images/portrait/thomas_savery.gif



Esquema da máquina térmica de Savery.

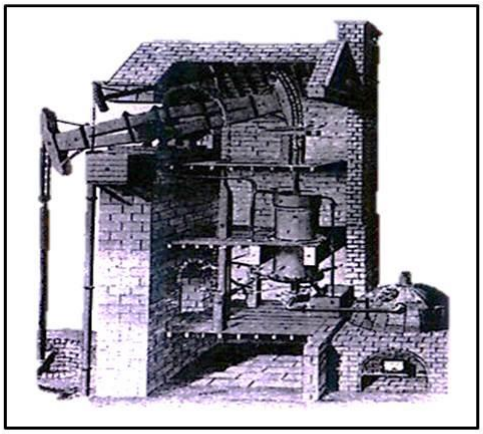
8 – MÁQUINA DE SAVERY

http://library.thinkquest.org/C006011/images/portrait/thomas_savery.gif



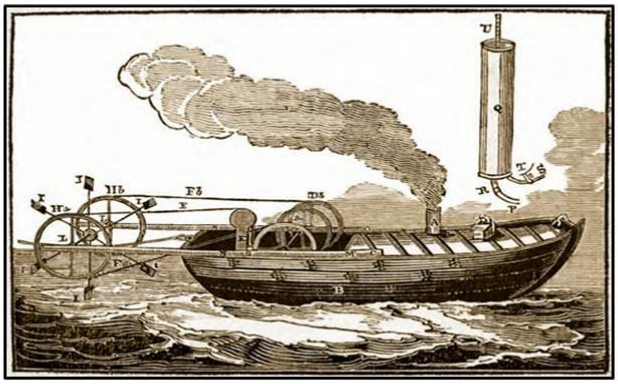
9 – THOMAS NEWCOMEN

http://b68389.medialib.glogster.com/media/6833ceb51497559e5b215fdbc7c82cd854b415b52a2b17c35ed232047af8c8fb/thomas-newcomen.jpg



9 – MÁQUINA DE NEWCOMEN

Fonte: Newton, Helou, Gualter. **Física 2**. 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2010.



10 – BARCO A VAPOR

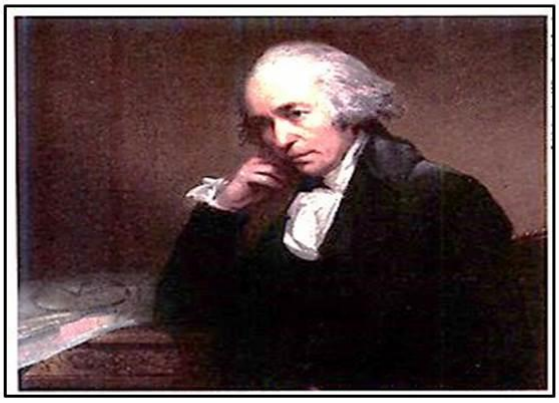
http://3.bp.blogspot.com/-Bn8dD2wqc6E/TvizHZzR2II/AAAAAAAABPU/QCshblTsduk/s1600/12_vaporbarco.png

11 – IVAN IVANOVICH POLZUNOV

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/58/Ivan_Polzunov_in_Veliky_Novgorod_3.JPG

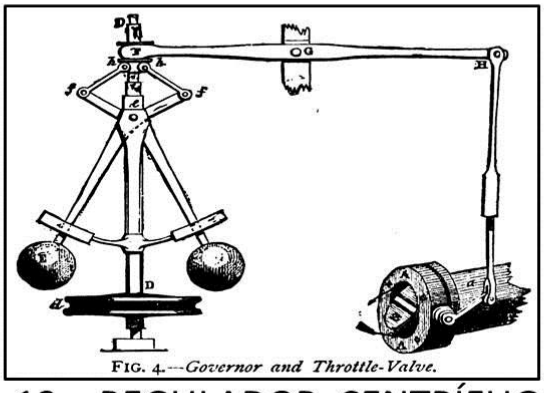
11 – MÁQUINA A VAPOR COM DOIS CILINDROS

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/df/Steam_engine_of_Ivan_Polzunov.JPG/175px-Steam_engine_of_Ivan_Polzunov.JPG



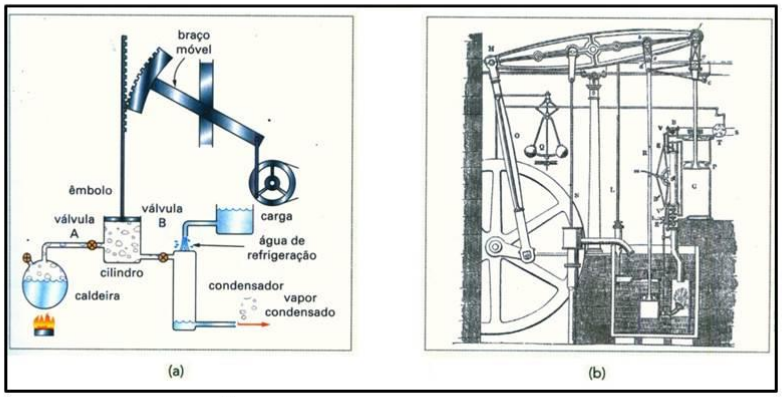
12 – JAMES WATT

Fonte: Newton, Helou, Gualter. **Física 2**. 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2010.



13 – REGULADOR CENTRÍFUGO

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1e/Centrifugal_governor.png/250px-Centrifugal_governor.png

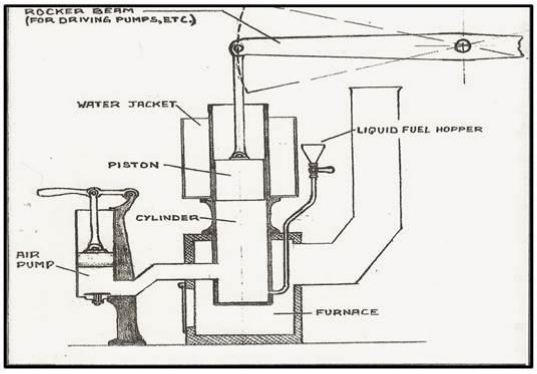


14 – MÁQUINA A VAPOR DE WATT

Fonte: Gaspar, Alberto. **Compreendendo a Física: ensino médio 2**. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2010.

15 – ROBERT STREET

http://www.schwarzgallery.com/images/normal/6246_street.jpg

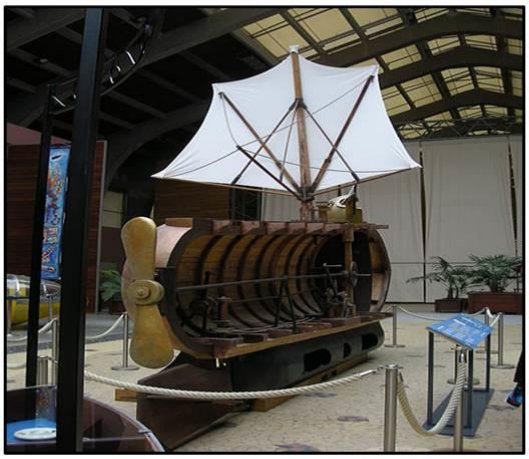


15 – MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA (MCI)
- MOTOR STREET

http://www.2012en.ro/wp-content/uploads/2012/06/Robert-Street-motor-ardere-interna-150x150.jpg

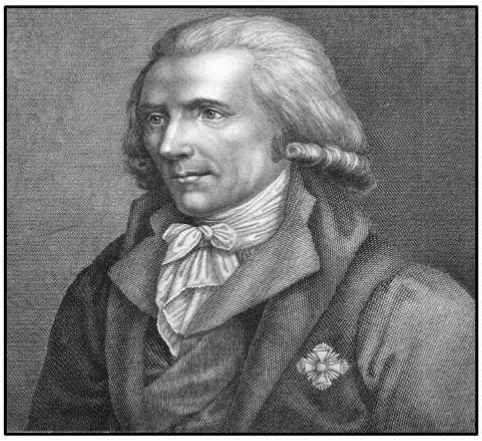
16 – ROBERT FULTON

http://www.nndb.com/people/332/000086074/fulton-1.jpg



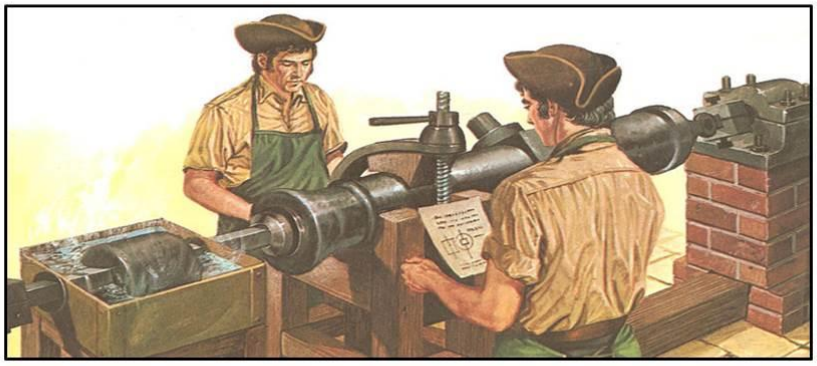
16 – NAUTILUS

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8e/FultonNautilus1.JPG



17 – BENJAMIN THOMPSON

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3c/Benjamin_Thompson.jpg/200px-Benjamin_Thompson.jpg

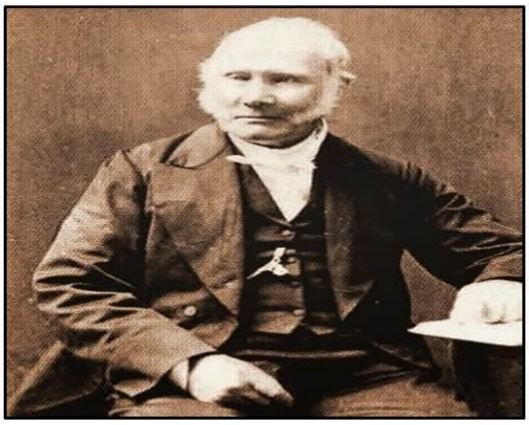


17 – EXPERIÊNCIA DE BENJAMIN THOMPSON

http://www.daviddarling.info/images2/cannon-boring_machine.jpg

18 – LAZARE NICOLAS MARGUERITE CARNOT

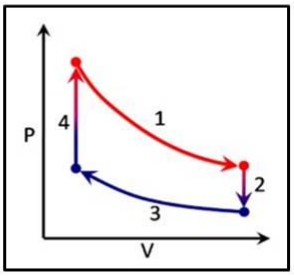
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3f/Portrait_Lazare_Carnot.jpg/170px-Portrait_Lazare_Carnot.jpg

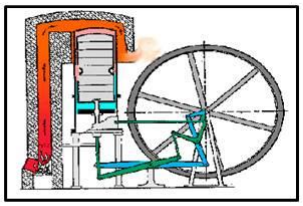


19 – ROBERT STIRLING

http://3.bp.blogspot.com/-wsx1WKbitaQ/UtrEaO1hNlI/AAAAAAAAAz8/mCDQ5g7NUZI/s1600/Robert_Stirling-colorida-2+(c%C3%B3pia).jpg

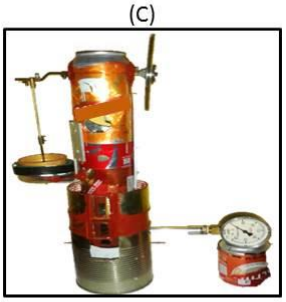
(A)





(B)

(C)



19 – CICLO E MOTORES STIRLING

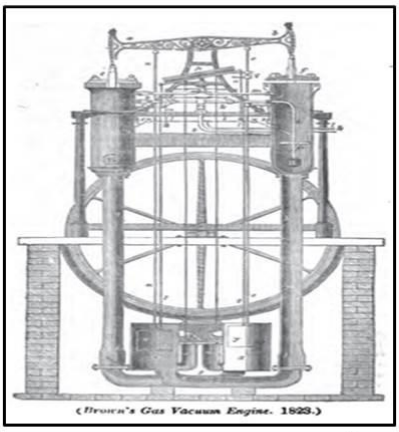
(A) http://www.physicspr.com/images/autocad/stirlingcycle.jpg

(B) http://www.moteurstirling.com/Images/airchaud1.gif

(C) Fonte: Própria autora.

20 – SAMUEL BROWN

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2f/Samuel-Brown-the-inventor.jpg/220px-Samuel-Brown-the-inventor.jpg

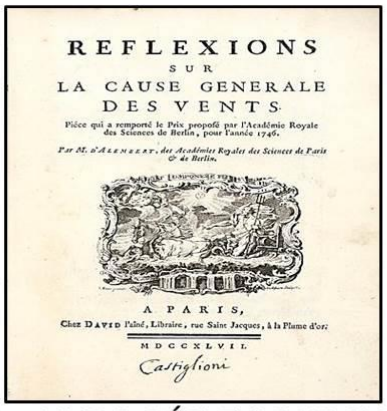


20 – MOTOR A GÁS

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/28/Brown%27s_Gas_Vacuum_Engine_1823.png/220px-Brown%27s_Gas_Vacuum_Engine_1823.png

21 – NICOLAS SADI CARNOT

Fonte: Newton, Helou, Gualter. **Física 2**. 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2010.



REFLEXIONS
SUR
LA CAUSE GENERALE
DES VENTS.

Pièce qui a remporté le Prix proposé par l'Académie Royale des Sciences de Berlin, pour l'année 1746.

Par M. D'ALEMBERT, des Académies Royales des Sciences de Paris & de Berlin.

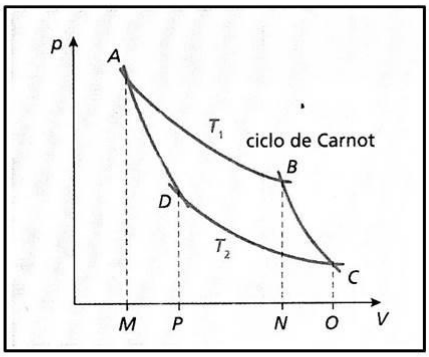
A PARIS,
Chez DAVID l'aîné, Libraire, rue Saint Jacques, à la Plume d'or.

MDCCXLVII.

Castiglioni

21 – LIVRO RÉFLEXIONS SUR LA PUISSANCE MOTRICE DU

http://www.milestone-books.de/pictures/thumb/002024_1.jpg



21 – CICLO DE CARNOT

Fonte: Gaspar, Alberto. **Compreendendo a Física: ensino médio 2**. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2010.

22 – GUSTAF DE LAVAL

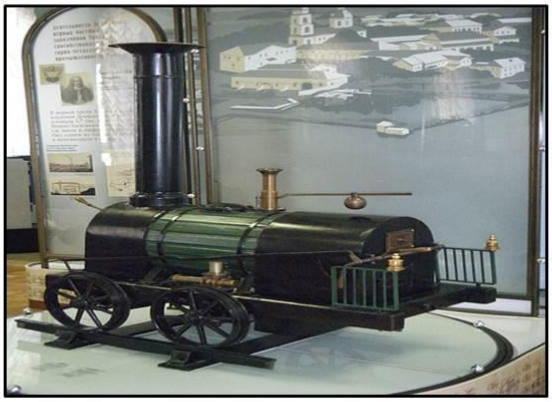
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/38/GustafDeLaval.jpg/140px-GustafDeLaval.jpg

22 – TURBINA A VAPOR

http://www.lessignets.com/signetsdiane/calendrier/images/mai/9/laval.jpg

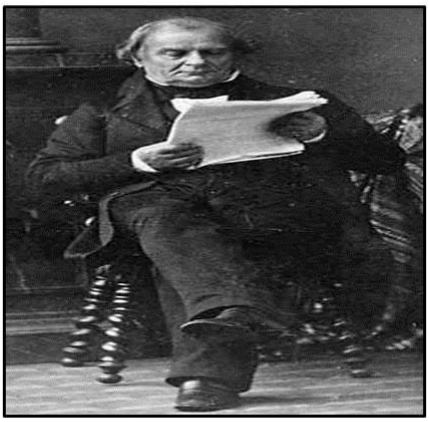
23 – YEFIM E MIRON CHEREPANOV

http://aarticles.net/culture-art-history/13731-mexaniki-cherepanovy-pochemu-parovoz-nazyvali-suxoputnym-paroxodom.html



23 – LOCOMOTIVA CHEREPANOV

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Cherepanov_locomotive.jpg



24 – BENOIT PIERRE ÉMILE CLAPEYRON

http://elementy.ru/images/eltbio/clapeyron_benoit_paul_emile_200.jpg

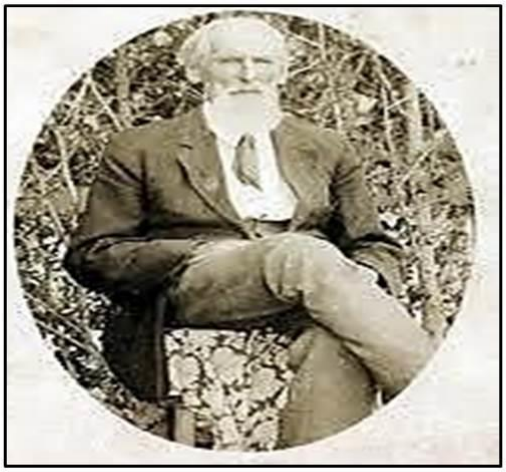
$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

- P: pressão
- V: volume
- n: número de mols
- R: constante universal dos gases perfeitos

$$R \approx 0{,}082\ \frac{atm \cdot L}{mol \cdot K} \text{ ou } 8{,}317\ \frac{J}{mol \cdot K}$$

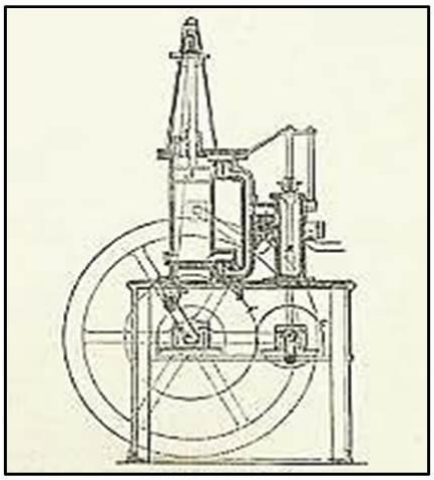
- T: temperatura

24 – EQUAÇÃO DE CLAPEYRON



25 – WILLIAM BARNETT

Fonte desconhecida



25 – MÁQUINA DE BARNETT

http://3.bp.blogspot.com/-GCBKl0hNJe4/Ush0aksBMKI/AAAAAAAABc0/rQDsAWhP3kY/s1600/475px-BarnettEngine.jpg

26 – JEAN JOSEPH ÉTIENNE LENOIR

http://www.deautogids.nl/data/images/etienne-lenoir.jpg

26 – MOTOR LENOIR

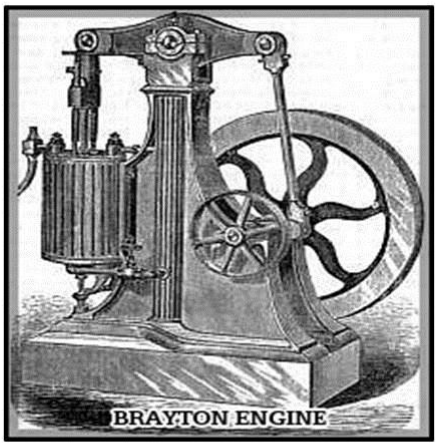
http://www.lessignets.com/signetsdiane/calendrier/images/aout/4/dscf3103.jpg

27 – ALPHONSE EUGÈNE BEAU DE ROCHAS

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Beauderochas.jpg

28 – GEORGE BRAYTON

http://www.wiley.com/college/schmidt/047114343X/thermonet/history/historyImages/brayton.jpg

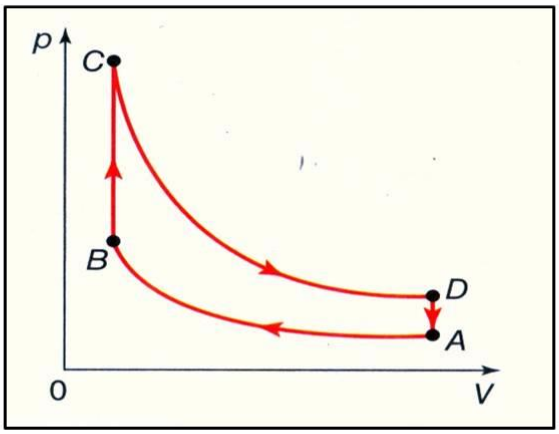


28 – MÁQUINA DE BRAYTON

http://www.braytonenergy.net/wp-content/themes/brayton-energy/images/brayton_engine.jpg

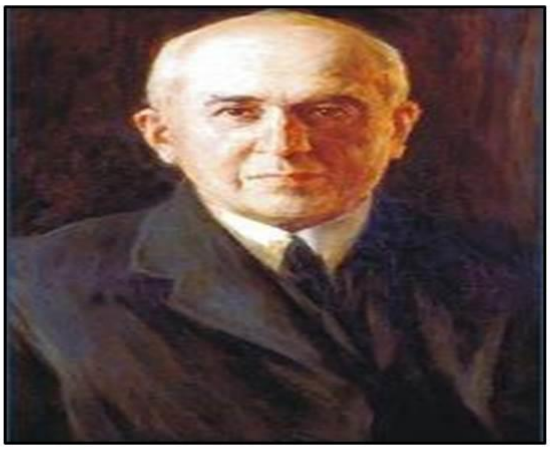
29 – NIKOLAUS AUGUST OTTO

Fonte: Torres, Carlos Magno et al. **Física Ciência e Tecnologia 2**. 2ª ed. São Paulo: Moderna, 2010.



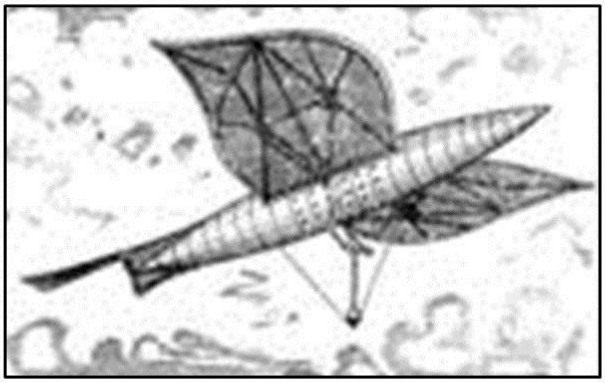
29 – CICLO OTTO

Fonte: Torres, Carlos Magno et al. **Física Ciência e Tecnologia 2**. 2ª ed. São Paulo: Moderna, 2010.



30 – OGNESLAV STEFANOVICH KOSTOVICH

http://www.b92.net/news/pics/2007/07/163430544046973cc2467f8631078284_big.jpg

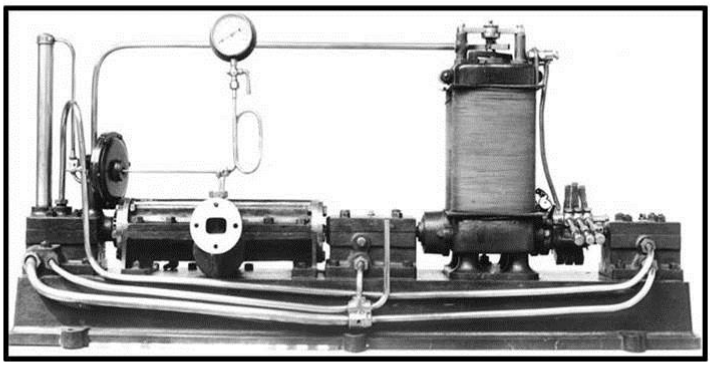


30 – MÁQUINA KOSTOVICH

http://i2.guns.ru/forums/icons/forum_pictures/000924/thm/924865.gif

31 – CHARLES ALGERNON PARSONS

http://www.scienceandsociety.co.uk/pix/PER/35/10242435_T.JPG

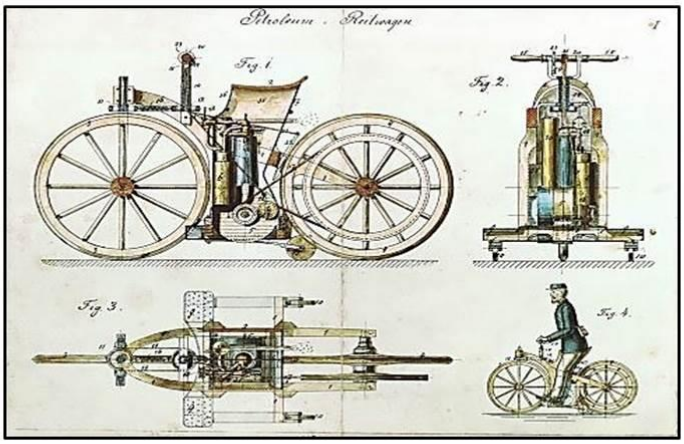


31 – TURBINA DE PARSONS

http://www.lessignets.com/signetsdiane/calendrier/images/fev/11/2/parsons_turbine.jpg

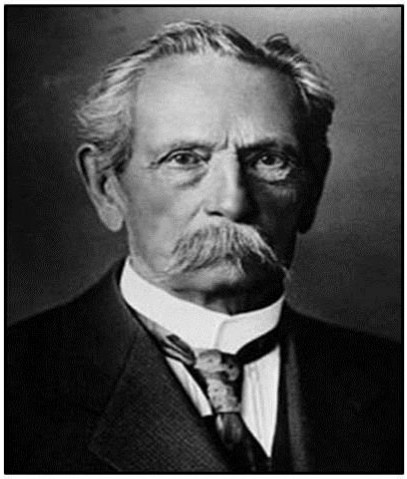
32 – GOTTLIEB DAIMLER

http://www.sggp.org.vn/dataimages/original/images207126_H10d.jpg



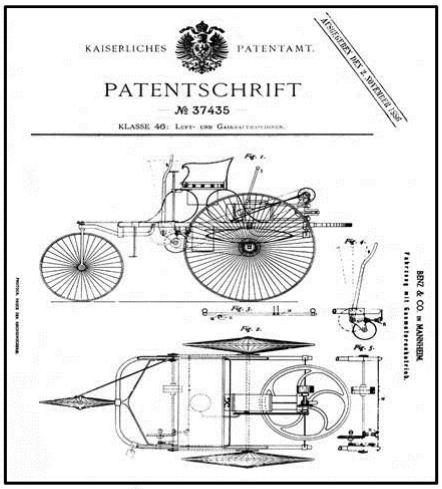
32 – PRIMEIRA MOTOCICLETA

http://www.mercedes-seite.de/wp-content/uploads/2010/08/464104_793714_3445_2774_1005255b42884-479x386.jpg



33 – KARL FRIEDRICH BENZ

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d6/CarlBenz.jpg/180px-CarlBenz.jpg



33 – AUTOMÓVEL TRICICLO - PATENTE

http://img.auto.cz/news/img/galleries/2006-01/82_43b8cd846cb52.jpg

34 – RUDOLF CHRISTIAN KARL DIESEL

Fonte: Torres, Carlos Magno et al. **Física Ciência e Tecnologia 2**. 2ª ed. São Paulo: Moderna, 2010.

Ciclo teórico ou ideal de um motor a explosão

1.ª etapa: de *A* até *B*;

2.ª etapa: de *B* até *C*;

3.ª etapa: de *C* até *D* e de *D* até *E*;

4.ª etapa de *E* até *B* e de *B* até *A*.

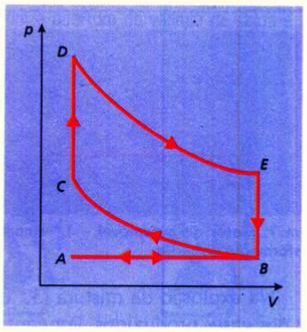
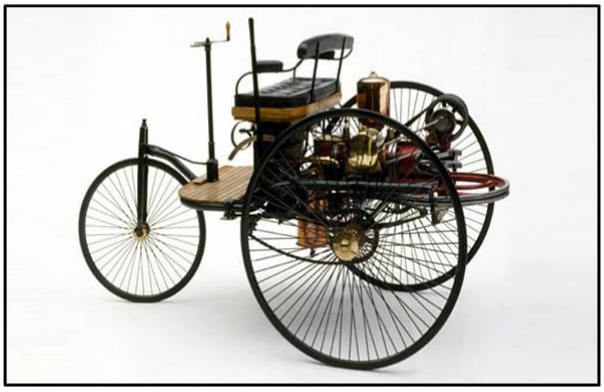


Diagrama da pressão pelo volume num ciclo ideal completo de funcionamento do motor de um automóvel.

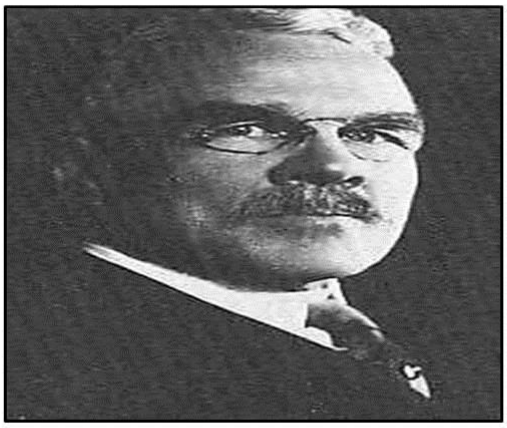
34 – CICLO DIESEL

Fonte: Gaspar, Alberto. **Compreendendo a Física: ensino médio 2**. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2010.



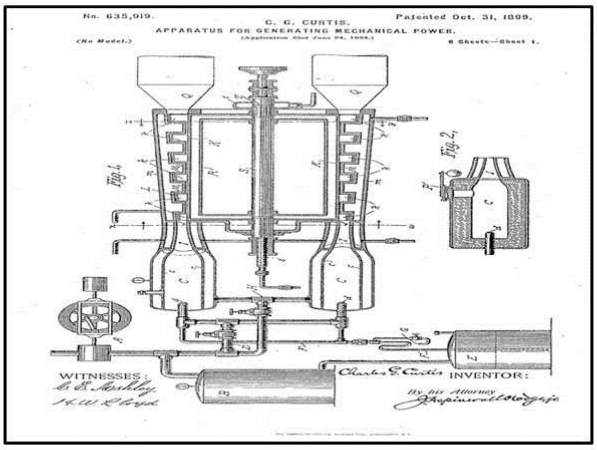
35 – AUTOMÓVEL TRICICLO

http://www.mercedes-benz.de/content/media_library/hq/hq_mpc_reference_site/passenger_cars/passenger_cars_world/heritage/history/passenger_cars/1886-1900/history_vehicles_pc.object-Single-MEDIA.tmp/1886_BenzPatentMotorCar_410x230.jpg



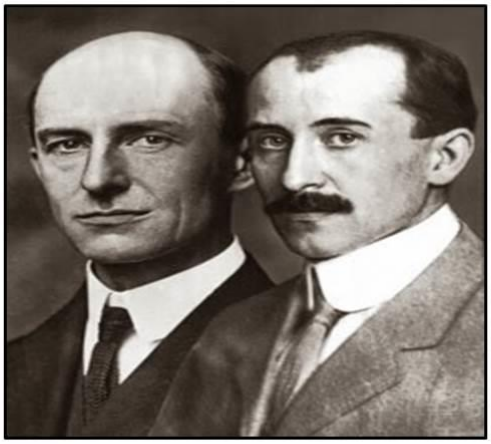
36 – CHARLES CURTIS

http://2.bp.blogspot.com/-XKBMZRSRdIY/T4yQS3ERsZI/AAAAAAAAALQ/JacWLl_1CWE/s1600/Charles_Gordon_Curtis.jpg



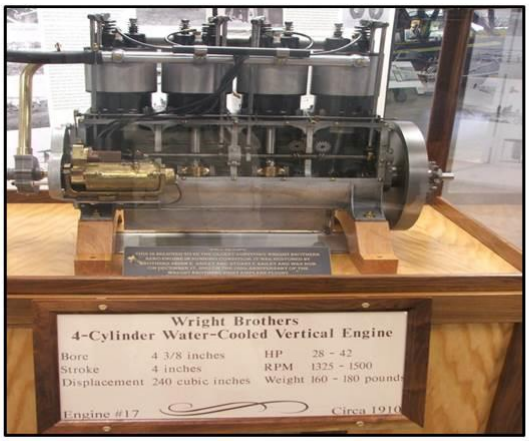
36 – TURBINA Á GAS

http://2.bp.blogspot.com/-DWw-9ys7bzs/T4ySVvm6LeI/AAAAAAAAALY/IPbAnsRfHYk/s1600/patent+sketch.jpg



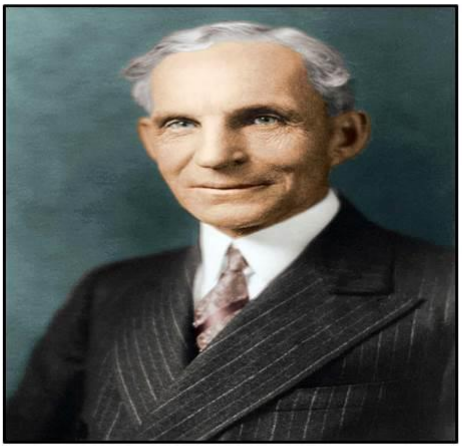
37 – IRMÃOS WRIGHT

http://freepages.family.rootsweb.ancestry.com/~matherseggerman/images/wilburorville.jpg



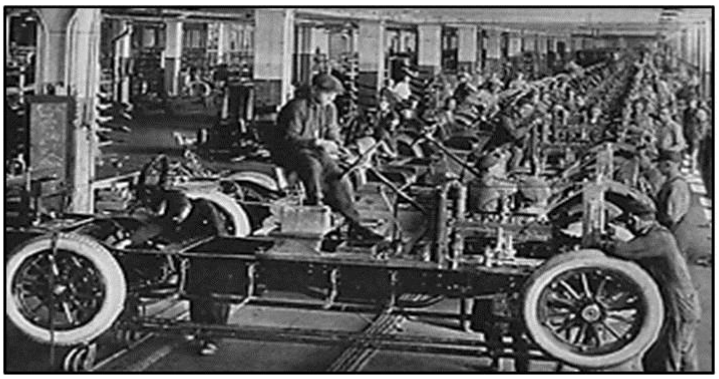
37 –MOTOR DOS IRMÃOS WRIGHT

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/54/Wright_brothers_engine_17.jpg/180px-Wright_brothers_engine_17.jpg



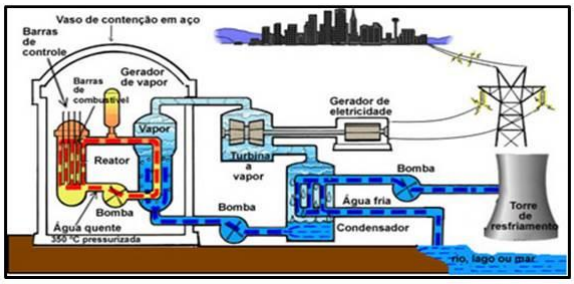
38 – HENRY FORD

http://news.nster.com/images/uploaded/00/01/20/12022_400x400.jpg



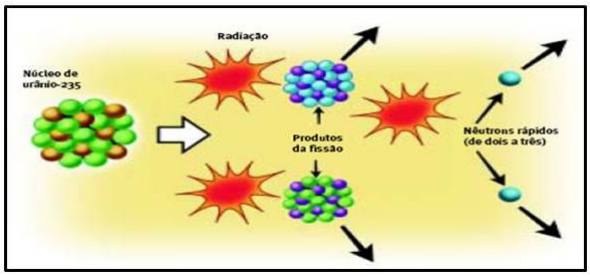
38 – LINHA DE MONTAGEM – FÁBRICA FORD

http://imodern.com/final-assembly-line.jpg



39 – REATOR NUCLEAR

http://brasilescola.uol.com.br/upload/conteudo/images/reator-nuclear.jpg



39 – PROCESSO DE FISSÃO NUCLEAR

http://www.biodieselbr.com/i/energia/nuclear/fissao-nuclear.jpg

UNIDADE 3

CONCEITOS E DEFINIÇÕES SOBRE OS TEMAS: TEMPERATURA E CALOR (REVISÃO), PRESSÃO E VOLUME

- **Duração da Unidade:** 1 aula totalizando aproximadamente 50 min.

- **Objetivos da Unidade**: abordar e abstrair os conceitos de temperatura, calor e sensação térmica fazendo uma breve revisão, e introduzir os conceitos de pressão e volume, através de experimentos.

- **Papel do professor:**

Neste momento o professor dirá aos alunos que eles irão fazer alguns experimentos simples para ajudá-los a compreender alguns conceitos físicos que já foram estudados e outros relativamente novos.

Solicite aos alunos que em grupo de aproximadamente quatro pessoas, tragam para a aula os seguintes materiais:

- 30 cm de mangueira de borracha flexível;
- 6 Balões nº 6;
- Barbante;
- Seringa de 20 mL;
- Tesoura;
- Seringa de 20 mL;
- Água;
- Fogão portátil ou garrafa térmica com água quente;
- 3 Bacias de plástico.

Retire uma cópia do roteiro I e II que seguem a seguir, e entregue aos alunos, e deixe que eles leiam o roteiro e assim façam os experimentos. O papel do professor neste caso é apenas de mediador. Não vá dando dicas espere que os próprios alunos consigam realizar o experimento. Não se desespere caso algum grupo demore mais do que os outros, isto é muito normal.

Se possível leve os alunos para outro ambiente que não seja a sala de aula, por exemplo, o laboratório de ciências se houver, ou o pátio da escola.

ESCOLA: _____

ROTEIRO I - EXPERIMENTO ACERTE A TEMPERATURA

DATA:____/_____/____ – SÉRIE/TURMA:_____

PROFESSOR(A):_____

COMPONENTES:_____

QUESTÃO PRÉVIA

1º) Será que a “temperatura” percebida por nosso tato realmente é a temperatura ou é apenas uma “sensação térmica”?

MATERIAIS

- 3 bandejas de plástico
- 1 fogão portátil ou garrafa térmica com água quente.
- Água em três temperaturas diferentes (ambiente, morna e gelada) suficiente para encherem as bandejas plásticas.
- Termômetro.
- Bandeja de vidro ou alumínio para aquecer a água.

PROCEDIMENTOS

1. Se for utilizar um fogão portátil, ligue-o, coloque água em uma bandeja de vidro ou alumínio e coloque-a sobre o fogão para aquecê-la.
2. Coloque na primeira bandeja água morna, na segunda água a temperatura ambiente e na terceira água gelada. Suficiente para cobrir as mãos. Organize-as para que a bandeja com água a temperatura ambiente fique no meio das outras duas (figura 1).
3. Insira uma mão na bandeja com água morna e a outra com água gelada. Espere por alguns minutos (figura 2).
4. Retire as mãos e ao mesmo tempo coloque-as dentro da bandeja com água a temperatura ambiente.

Figura 1

Figura 2

QUESTÕES DO EXPERIMENTO

1º) Qual foi a sensação percebida ao colocar as mãos dentro da bandeja de água a temperatura ambiente, depois de as terem colocado nas bandejas com água morna e gelada?

2º) Tente adivinhar qual a temperatura da água da vasilha do meio, aquela que possui a água a temperatura ambiente, isto depois de ter feito o passo descrito na questão 1 e anote aqui: _____

3º) Depois com o auxílio de um termômetro meça a temperatura da água desta vasilha e anote aqui:_____

4º) A “temperatura” percebida pelas mãos é a temperatura real da água?

5º) Qual termo pode ser utilizado para explicar o que foi percebido pelas mãos?

ESCOLA: _____

ROTEIRO II - EXPERIMENTO BEXIGA NA SERINGA

DATA:____/_____/____ – SÉRIE/TURMA:_____

PROFESSOR(A):_____

COMPONENTES:_____

QUESTÃO PRÉVIA

1º) O que acontece com a pressão dentro de uma bexiga quando diminuímos seu volume, ou seja a comprimirmos?

MATERIAIS

- 1 pequeno balão de aniversário
- 1 seringa de 20mL (ou maior), sem agulha
- 1 tesoura
- 1 pedaço de barbante

PROCEDIMENTOS

1. Coloque um pouco de ar no balão (figura 1).
2. Vá comprimindo o ar dentro do balão até formar um balãozinho. Se for o caso, deixe escapar um pouco do ar para que o balãozinho tenha o tamanho adequado para caber com alguma folga dentro da seringa (figura 2).
3. Enrole a ponta do “balãozinho” de forma a aprisionar o ar (figura 3).
4. Amarre o "balãozinho" com um barbante (figura 4).
5. Corte as sobras do barbante e do balão e coloque o "balãozinho" dentro da seringa (figura 5).
6. Coloque o "balãozinho" no interior da seringa mantendo o êmbolo na parte superior (figura 6).
7. Puxe o êmbolo tampando a ponta da seringa e observe o que acontece com o balão. Faça também o inverso, comprima o êmbolo tampando a ponta da seringa (figura 7 – a e b).

Figura 3

Figura 4

Figura 5

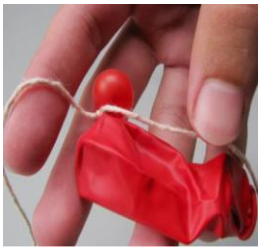


Figura 6

Figura 7

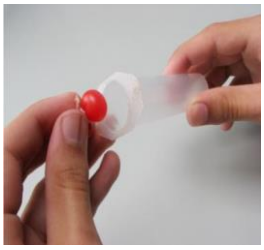


Figura 8

Figura 9: (a)

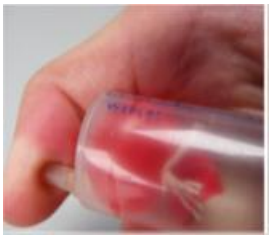


Figura 9: (b)

QUESTÕES

1º) O que ocorre com o balão dentro da seringa quando tampamos a ponta dela e **empurramos** seu êmbolo?

2º) O que ocorre com o balão dentro da seringa quando tampamos a ponta dela e **puxamos** o êmbolo?

3º) Baseados no experimento como podemos descrever a relação entre a pressão e o volume que ocorre com o ar dentro da seringa em relação ao ar dentro do balão?

4º) Quais termos físicos podemos utilizar para explicar o que está ocorrendo com a bexiga ao empurrarmos e puxarmos o êmbolo?

5º) Agora explique o que ocorre com o ar dentro da seringa em relação ao ar dentro do balão utilizando os termos que você escreveu na questão 4.

UNIDADE 4

CICLOS E PROCESSOS TERMODINÂMICOS

- **Duração da Unidade:** 6 aulas → aproximadamente 300 minutos no total.

- **Objetivos da Unidade:** apresentar os ciclos e os processos termodinâmicos através de aula expositivo-dialogada e fixar o conteúdo através da resolução de exercícios e da elaboração das músicas.

- **Papel do professor:**

Na primeira aula desta unidade o professor irá ministrar uma aula preparada em slides com as animações dos diagramas dos ciclos de Carnot, Otto, Diesel, Stirling e da geladeira dando enfoque nas transformações que ocorrem em cada etapa do ciclo. Um exemplo desta aula encontra-se logo após estas orientações (parte escrita) e a apresentação de Slides pronta encontra-se no link: https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxyYXlzYXp1cnJhc2FyYWl2YXxneDpjYTAwMmFkZDgyMWE4M2M

Depois da exposição dos ciclos o professor dividirá a sala em equipes, onde cada equipe terá que compor e apresentar uma música inédita ou paródia sobre algum dos ciclos ou transformações envolvidas nos ciclos. O professor poderá utilizar para dividir os grupos a lista com os conteúdos presente no Apêndice D - II. A parte correspondente à composição da música será feita extraclasse e somente a apresentação será realizada na sala de aula ou de preferência em um ambiente diferente. Os alunos podem gravar um vídeo com a apresentação deles e depois apenas apresentá-lo para os colegas de classe. A ficha para a avaliação das músicas encontra-se no Apêndice D – III.

Para melhor fixação do conteúdo e início da utilização das ferramentas matemáticas necessárias realiza-se posteriormente resoluções de exercícios em sala, alguns o professor realizará e outros passará como atividade extraclasse para os discentes. Alguns exemplos de exercícios estão disponíveis no Apêndice D – IV.

APÊNDICE D – I

CICLOS E PROCESSOS TERMODINÂMICOS

Esses conteúdos foram retirados quase na íntegra de duas fontes: os processos de transferência de calor foi do site da UNICAMP, os ciclos Termodinâmicos foram retirados do site da UFRGS os links para os textos originais encontram-se nas referências. Esperamos professor(a) que estes textos lhe ajudem em sua explicação do aula em slides sobre os ciclos e processos Termodinâmicos disponível em: https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxyYXlzYXp1cnJhc2FyYWl2YXxneDpjYTAwMmFkZDgyMWE4M2M

RELEMBRANDO

1. PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Para que ocorra troca de calor, é necessário que ele seja transferido de uma região a outra através do próprio corpo, ou de um corpo para outro. Existem três processos de transferência de calor estudados na termologia, são eles: **condução, convecção e irradiação**. A irradiação é a propagação de ondas eletromagnéticas que não precisam de meio para se propagar, enquanto que a condução e a convecção são processos de transferência que necessitam de um meio material para se propagar.

1.1. Condução

Quando dois corpos com temperaturas diferentes são colocados em contato, as moléculas do corpo mais quente, colidindo com as moléculas do corpo mais frio, transferem energia para este. Esse processo de condução de calor é denominado condução. No caso dos metais, além da transmissão de energia de átomo para átomo, há a transmissão de energia pelos elétrons livres, ou seja, são os elétrons que estão mais afastados do núcleo e que são mais fracamente ligados aos núcleos, portanto, esses elétrons, colidindo entre si e com átomos, transferem energia com bastante facilidade. Por esse motivo, o metal conduz calor de modo mais eficiente do que outros materiais.

1.2. Convecção

Da mesma forma que o metal, os líquidos e os gases são bons condutores de calor. No entanto, eles transferem calor de uma forma diferente. Esta forma é denominada **convecção**. Esse é um processo que consiste na movimentação de partes do fluido dentro do próprio fluido. Por exemplo, vamos considerar uma vasilha que contenha água à temperatura inicial de 4°C. Sabemos que a água acima de 4ºC se expande, então ao colocarmos essa vasilha sobre uma chama, a parte de baixo da água se expandirá, tendo sua densidade diminuída e, assim, de acordo com o Princípio de Arquimedes, subirá. A parte mais fria e mais densa descerá, formando-se, então, as correntes de convecção. Como exemplo de convecção temos a geladeira, que tem seu congelador na parte de cima. O ar frio fica mais denso e desce, o ar que está embaixo, mais quente, sobe.

1.3. Irradiação

Podemos dizer que a irradiação térmica é o processo mais importante, pois sem ela seria praticamente impossível haver vida na Terra. É por irradiação que o calor liberado pelo Sol chega até a Terra. Outro fator importante é que todos os corpos emitem radiação, ou seja, emitem ondas eletromagnéticas, cujas características e intensidade dependem do material de que é feito o corpo e de sua temperatura. Portanto, o processo de emissão de ondas eletromagnéticas é chamado de irradiação. A garrafa térmica é um bom exemplo de irradiação térmica. A parte interna é uma garrafa de vidro com paredes duplas, havendo quase vácuo entre elas. Isso dificulta a transmissão de calor por condução. As partes interna e externa da garrafa são espelhadas para evitar a transmissão de calor por irradiação.

Figura 4: Exemplo de processos de transformação de calor.

Fonte: http://ggte.unicamp.br/e-unicamp/public/?download&itemId=279

2. TRANSFORMAÇÕES TERMODINÂMICAS

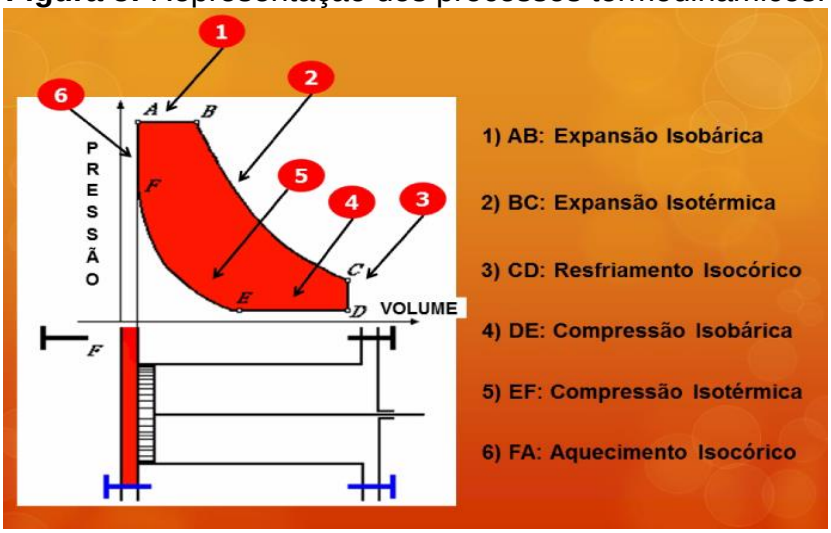
2.1 **ISOTÉRMICA (ΔT = 0)** → não há variação de temperatura e de energia interna.

2.2 **ISOVOLUMÉTRICA OU ISOCÓRICA (ΔV = 0)** → não existe variação de volume e, portanto não há trabalho.

2.3 **ISOBÁRICA (ΔP = 0)** → a pressão se mantém constante e o volume é proporcional a temperatura.

2.4 **ADIABÁTICA (Q = 0)** → não há trocas de calor com o meio externo (sistema isolado).

Figura 5: Representação dos processos termodinâmicos.



Fonte: A própria autora.

3. CICLOS TERMODINÂMICOS

Os ciclos termodinâmicos são processos que um sistema realiza a fim de se obter trabalho do sistema ou de se realizar trabalho sobre o sistema. Cada tipo de motor, por exemplo, tem um processo diferenciado para que se obtenha trabalho do sistema. Assim o ciclo que rege o funcionamento do motor a diesel é diferente do ciclo que rege o motor a gasolina ou álcool. Estes dois ainda são diferentes do ciclo a vapor e estão longe de ser um ciclo ideal.

Conheça um pouco dos seguintes ciclos termodinâmicos: **Ciclo Otto, Ciclo Diesel, Ciclo de Carnot, Ciclo Stirling e o Ciclo da Geladeira**. Certamente uma pesquisa mais a fundo revelará que há mais dos que os apresentados aqui. Mas para o nível dos nossos estudos esses são satisfatórios.

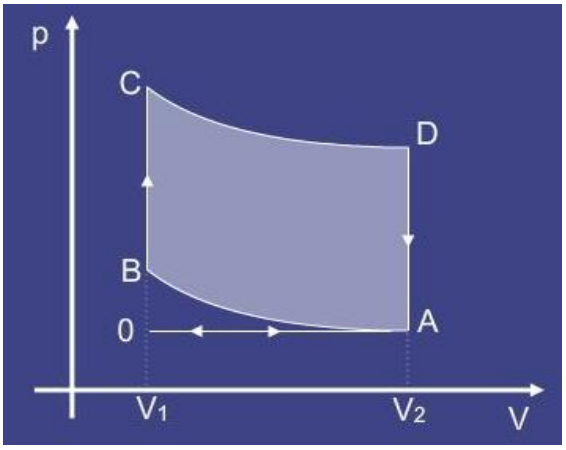
3.1 Ciclo Otto

Responsável pelo projeto do motor a 4 tempos em 1876, Nikolaus August Otto (1832-1891), engenheiro alemão, teve sua patente revogada em 1886 porque alguém já tinha tido essa ideia. Porém Otto e seus dois irmãos não se deram por satisfeitos e construíram os primeiros protótipos do seu motor, onde obtiveram grande aceitação por ter uma eficiência maior e ser mais silencioso que os modelos concorrentes. Curiosamente os primeiros modelos eram movidos a gás e somente depois de alguns anos foram aperfeiçoados aos modelos de gasolina com admissão de ar. O ciclo teórico mostrado na figura 3 passou a ser denominado ciclo de Otto.

Basicamente esse ciclo é constituído de quatro processos:

1. **AB** → Processo de Compressão Adiabática;
2. **BC** → Processo de Aquecimento Isométrico de Calor;
3. **CD** → Processo de Expansão Adiabática;
4. **DA** → Processo de Rejeição Isométrica de Calor;

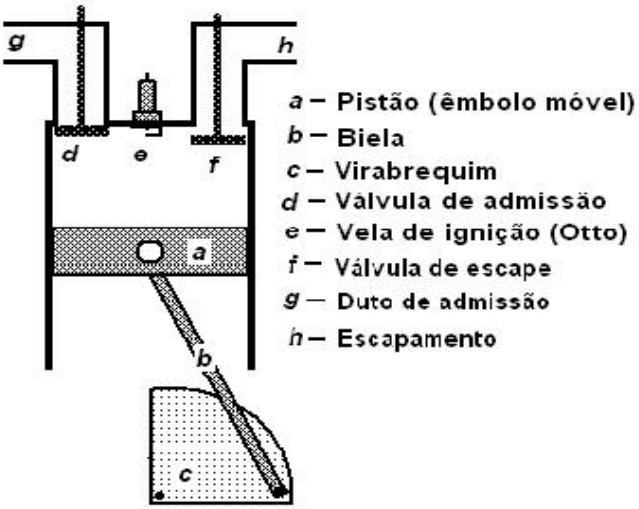
Figura 6: Diagrama PV do ciclo de Otto (motor à explosão)



Fonte: Daniel Schulz – UFRGS - 2009

Descreveremos a seguir os elementos que compõe o motor combustão interna, a álcool ou a gasolina, necessários ao seu funcionamento: como as **válvulas** (que controlam a entrada e saída de ar ou produto da explosão), a **vela** que emite a faísca que dá início à explosão e no interior do motor o **virabrequim** que controla várias funções do motor como o acionamento das válvulas, a sincronia dos pistões e a transmissão de energia mecânica para a caixa de câmbio (Figura 13).

Figura 7: Principais Partes de uma máquina térmica Otto

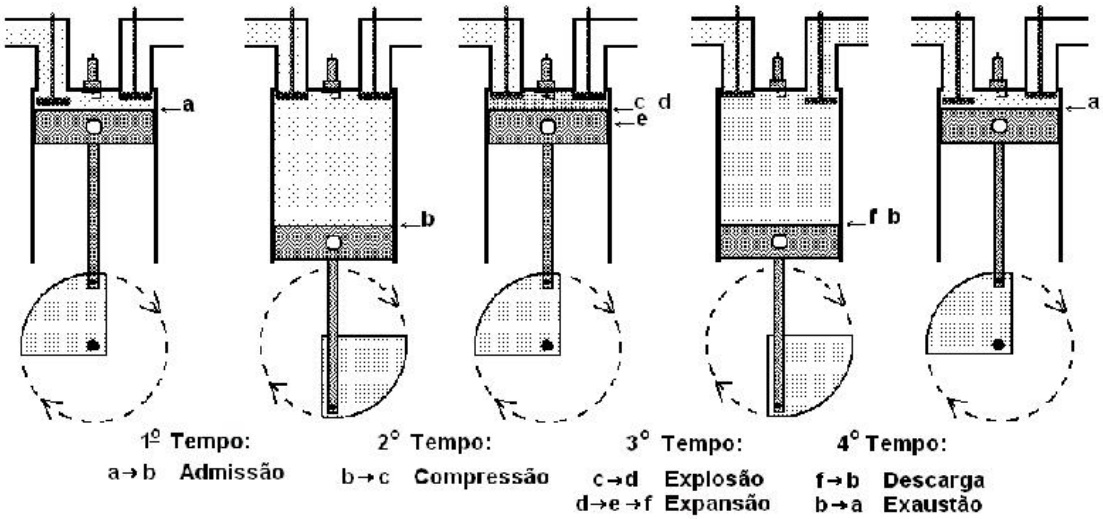


Fonte: Daniel Schulz. UFRGS. 2009.

A seguir está um corte lateral e a relação do processo

detalhado no ciclo de Otto.

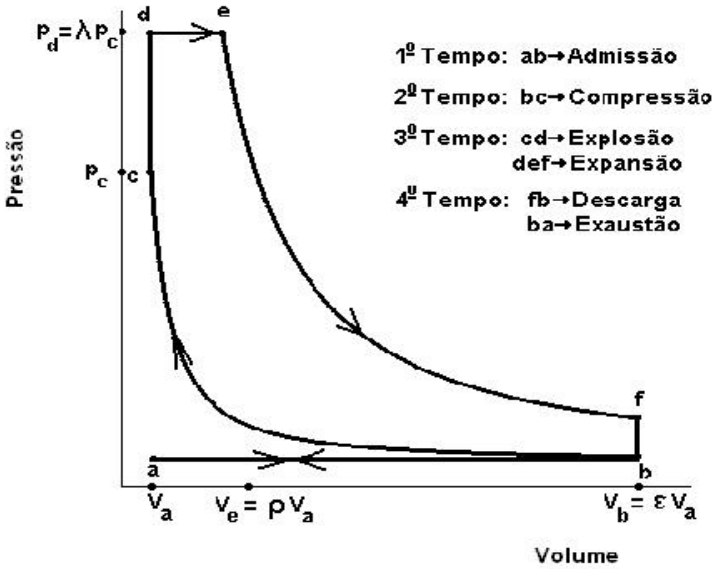
Figura 8: Corte do motor e relação das etapas (Otto)



Fonte: Daniel Schulz. UFRGS. 2009.

É importante salientar as diferenças entre o ciclo teórico e o ciclo prático: veja as diferenças entre a figura 12 e a figura 15. A figura 15 representa graficamente o que acontece em cada processo de Otto.

Figura 9: Representação gráfica real do Ciclo Otto



Fonte: Daniel Schulz. UFRGS. 2009.

Dê uma atenção especial às barras verticais que demonstram como variam o volume, a pressão e a temperatura durante o ciclo.

Os motores desse tipo não tem fontes quentes e frias explícitas. A fonte quente resulta do calor gerado na explosão do combustível enquanto a fria da substituição de uma fração do fluido de combustível quente e queimado por outra fria, a ser queimada e explodida.

3.1 Ciclo Diesel

Rudolf Diesel patenteou um motor à combustão de elevada eficiência, demonstrando em 1900, um motor movido a óleo de amendoim, cuja tecnologia leva seu nome até hoje. Na figura 6 encontra-se uma cópia do documento que garantiu a patente a Rudolf Diesel.

Figura 10: Patente do motor Diesel

PATENT-URKUNDE

UF GRUND DER ANGEHEFTETEN BESCHREIBUNG UND ZEICHNUNG IST DURCH BESCHLUSS DES KAISERLICHEN PATENTAMTES

an Rudolf Diesel, Ingenieur, in Berlin

EIN PATENT ERTHEILT WORDEN.

GEGENSTAND DES PATENTES IST:

Arbeitsverfahren und Ausführungsart für Verbrennungskraftmaschinen.

ANFANG DES PATENTES: 28. Februar 1900.

ZU URKUND DER ERTHEILUNG DES PATENTES IST DIESE AUSFERTIGUNG ERFOLGT.

Berlin, den 23. Februar 1900.

KAISERLICHES PATENTAMT.

Fonte: Wikipédia.

Atualmente está se estudando formas de reaproveitamento do óleo de cozinha na utilização como óleo combustível para motores movidos a Diesel. O óleo de cozinha auxilia a diminuir a emissão de poluentes em motores diesel, além de melhorar o desempenho dos lubrificantes internos do motor. A descoberta é resultado das pesquisas feitas por engenheiros da Penn State University (Estados Unidos). Os pesquisadores produziram versões especialmente tratadas de óleos comestíveis, como óleos de soja, canola e girassol.

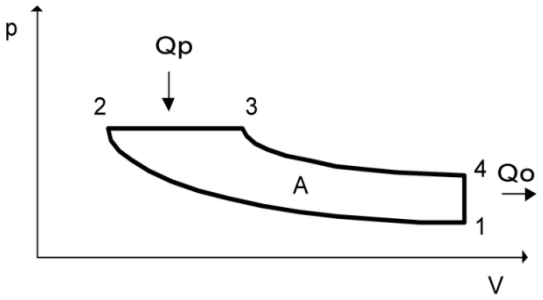
O ciclo de diesel é essencialmente caracterizado pela combustão ser causada pela compressão da mistura ar + combustível. O ar é admitido pela câmara no primeiro ciclo entrando na câmara. No segundo ciclo, o pistão faz a compressão dessa massa de ar e a término da compressão, injeta-se combustível sob pressão no interior da câmara. Dada as altas temperatura e pressão no interior da câmara, a mistura sofre a explosão ao final do ciclo. A expansão do gás originário dessa explosão expande-se originando o terceiro ciclo. Finalmente o gás de resíduos da combustão é liberado pelas válvulas, quando então, reinicia-se o processo.

De uma forma geral o estado inicial do ciclo de diesel é aquele que promove uma compressão adiabática e leva a máquina ao próximo estado. Neste estado ocorre uma transformação isobárica onde a máquina recebe calor. Durante a

mudança deste para o próximo estado, ocorre uma expansão adiabática. Finalmente, ocorre uma transformação isocórica onde a máquina perde calor e a partir daí, reinicia-se o ciclo.

Na figura 17 tem-se um diagrama p-V do ciclo de Diesel, onde Q_p é o calor recebido e Q_o é o calor perdido para o meio. Cabe ressaltar que os pontos numerados 1, 2, 3 e 4 são os estados do sistema termodinâmico.

Figura 11: Diagrama pV que representa o ciclo Diesel.



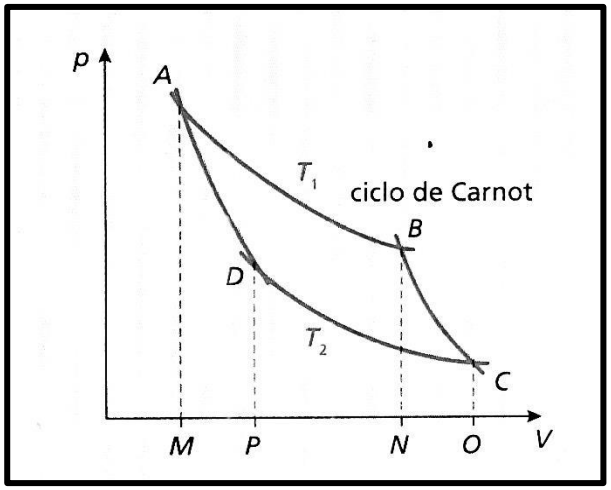
É importante salientar a diferença dos motores diesel para gasolina sob o aspecto da combustão: nos motores a gasolina há um dispositivo **faiscador (vela)** que não há na maioria dos sistemas diesel. Outro dado é o de que no motor a gasolina o combustível entra na câmara durante a admissão do ar, o que provoca perdas na taxa de compressão do motor. Já no sistema diesel, somente o ar é aspirado na admissão e o combustível é injetado quando o motor atinge máxima compressão do ar ocasionando assim a explosão da mistura.

O Diesel apresenta outras características importantes em relação a gasolina, uma delas é a o tempo de evaporação. Pelo fato desse combustível ter maior viscosidade que a gasolina ele apresenta um maior tempo de evaporação, já que é necessária mais energia térmica para romper a ligação das moléculas. Outra característica interessante é a de que o diesel tem cadeias de carbono mais longas do que a gasolina, enquanto o diesel tem moléculas tipo $C_{14}H_{30}$, a gasolina possui C_9H_{20}. Esse é um dos fatores que contribui para o preço do óleo diesel ser mais barato de se produzir, já que ele necessita menor refino do petróleo que a gasolina. Finalmente a densidade energética do diesel é maior. Para cada 3,785 litros de diesel pode-se obter 155 milhões de joules, enquanto para a mesma quantidade de gasolina a taxa energética cai para 132 milhões de joules. Esses dados refletem no aproveitamento do combustível durante o consumo: os motores a diesel tendem a ser mais econômicos que os motores a gasolina quando empregados no mesmo veículo.

3.2 Ciclo de Carnot

Esse ciclo foi inicialmente proposto pelo físico e engenheiro militar Nicolas Léonard Sadi Carnot no ano de 1824. Ele pode ser representado por uma sequência de transformações gasosas onde uma máquina térmica tem o seu rendimento máximo operando em ciclos, diante de duas fontes térmicas. Carnot mostrou que quanto maior a temperatura da fonte quente, maior seria seu rendimento para uma substância que se comportasse como um gás ideal.

Figura 12: Ciclo de Carnot



O ciclo de Carnot (figura 18) é constituído de duas transformações isotérmicas: uma para a temperatura T_1 da fonte quente onde ocorre o processo de expansão e a outra temperatura T_2 referente a fonte fria onde ocorre o processo de compressão. Cada uma dessas transformações é intercalada com duas transformações adiabáticas.

Assim temos que os processos descritos neste ciclo:

1. **Expansão isotérmica →AB** onde o gás retira energia térmica da fonte quente;
2. **Expansão adiabática → BC** onde o gás não troca calor;
3. **Compressão isotérmica → CD** onde o gás rejeita energia térmica para a fonte fria;
4. **Compressão adiabática → DA** onde o gás não troca calor.

As máquinas térmicas que utilizam esse tipo de ciclo são consideradas máquinas térmicas ideais. Isso acontece porque seu rendimento é o maior dentre as demais máquinas e chega próximo a 100%. O teorema de Carnot divide-se em duas partes:

i. a máquina de Carnot (todas aquelas que operam segundo o ciclo de Carnot) tem rendimento maior que qualquer outro tipo de máquina, operando entre as mesmas fontes (mesmas temperaturas);

ii. todas as máquinas de Carnot tem o mesmo rendimento, desde que operem com as mesmas fontes (mesmas temperaturas).

Em particular a este ciclo foi demonstrado que as quantidades de calor trocadas com as fontes são proporcionais às respectivas temperaturas absolutas:

$$\frac{|Q_2|}{|Q_1|} = \frac{T_2}{T_1}$$

Onde:

T_1 - Temperatura da fonte quente (K);

T_2 - Temperatura da fonte fria (K);

Q_1 - Energia térmica recebida da fonte quente (J);

Q_2 - Energia térmica recebida da fonte fria (J).

Como, para uma máquina térmica o rendimento é dado por:

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

E para uma máquina térmica que opera segundo o ciclo de Carnot temos que:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

3.3 Ciclo Stirling

No início do desenvolvimento das máquinas a vapor (século XIX), a tecnologia e os materiais de construção das caldeiras de pressão eram defeituosos, o que provocava inúmeros acidentes graves com explosões desastrosas e, consequentemente, muitas vítimas mortais.

Sendo este o panorama de um novo século, o pastor escocês Robert Stirling e o seu irmão, procuraram desenvolver um mecanismo mais seguro, isto é, um motor que se aproximava imenso do motor das máquinas a vapor mas que, ao funcionar com pressões relativamente mais baixas devido ao uso interno de ar ou outros gases, proporcionava uma maior segurança àqueles que trabalhavam com as máquinas.

Assim, em 1818, o primeiro motor foi construído para bombear água numa pedreira e, ao longo dos anos, foi aperfeiçoado, sendo em 1843 utilizado para mover máquinas numa fundição.

A dinâmica simples e elegante do engenho de Stirling foi explicada em 1850 e, em 1950, Rolf Meijer, batizou este motor como “Motor de Stirling”, generalizando todos os engenhos regenerativos de circuito e com aquecimento externo.

Para além das vantagens acima referidas que a invenção proporcionou, é também importante referir que este motor contem um regenerador ou economizador que permite obter uma eficiência superior ao dos motores de gasolina, diesel e máquinas a vapor e também economizar energia.

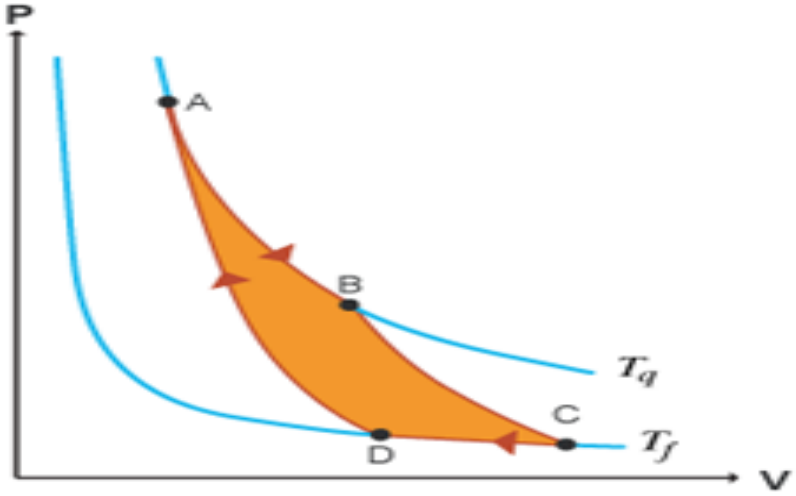
3.2.1 Como funciona o Motor Stirling?

O Motor Stirling surpreende pela sua simplicidade, pois é constituído por duas câmaras de diferentes temperaturas que aquecem e resfriam um gás de forma alternada, provocando expansão e contração cíclicas, o que faz movimentar dois êmbolos ligados a um eixo comum. Este tipo de motor funciona com um ciclo termodinâmico composto por 4 fases e executado em 2 tempos do pistão:

- **Compressão Isotérmica** (= temperatura constante)
- **Aquecimento Isométrico** (= volume constante)
- **Expansão Isotérmica**
- **Resfriamento Isométrico**

O seu funcionamento baseia-se no ciclo de Carnot, (válido para gases perfeitos), que estabelece o limite teórico máximo de rendimento das máquinas térmicas. O gás utilizado nos modelos mais simples é o ar. O hélio ou hidrogénio pressurizado (até 15 MPa) são empregados nas versões de alta potência e rendimento por serem gases com condutividade térmica mais elevada, isto é, transportam energia térmica (calor) mais rapidamente e têm menor resistência ao escoamento, o que implica menos perdas por atrito. Ao contrário dos motores de combustão interna, o fluido de trabalho nunca deixa o interior do motor, tratando-se portanto de uma máquina de ciclo fechado. Pela observação da figura 19 podemos constatar que este é um ciclo ideal que trabalha entre duas temperaturas, Tf e Tq, onde a segunda é superior à primeira.

Figura 13: Ciclo Stirling



- **Processo de A para B:** corresponde a uma expansão isotérmica à temperatura T_q. O gás é posto em contato térmico, através da base do cilindro, com uma fonte de energia sob a forma de calor à temperatura Tq. Durante a expansão do volume V_A para o volume V_B, o gás recebe energia, $|Q_q|$, e realiza trabalho, W_{AB}, para empurrar o pistão, aumentando, desta forma, o volume dentro do cilindro.

- **Processo de B para C:** a base do cilindro é substituída por uma parede não condutora e o gás expande de forma adiabática, isto é, não entra nem sai do sistema energia sob a forma de calor. Durante a expansão, a temperatura do gás diminui de T_q para T_f e o gás realiza trabalho, W_{BC}, ao empurrar o pistão.

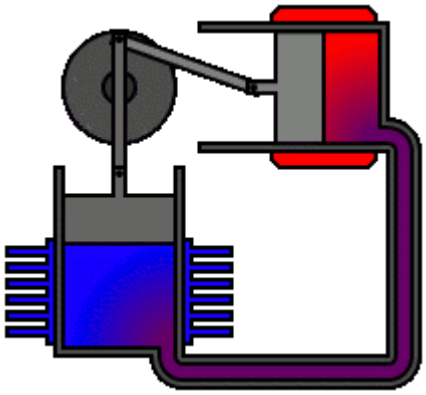
- **Processo de C para D:** o gás é posto em contato térmico, através da base do cilindro, com uma fonte de energia sob a forma de calor à temperatura T_f, sendo comprimido isotermicamente. O pistão move-se de forma a diminuir a área dentro do cilindro, realizando trabalho, W_{CD}, sob o gás que é comprimido até ao volume V_D. Durante este processo, o gás transfere energia sob a forma de calor, |Qf|, para a fonte fria.
- **Processo de D para A:** novamente a base do cilindro é substituída por uma parede não condutora, ocorrendo uma compressão adiabática. O gás continua a ser comprimido pelo pistão que realiza trabalho, W_{DA}, sob o gás, o

qual aumenta novamente a sua temperatura até Tq, sem que haja qualquer troca de calor no sistema.

3.2.2 Tipos de Motores

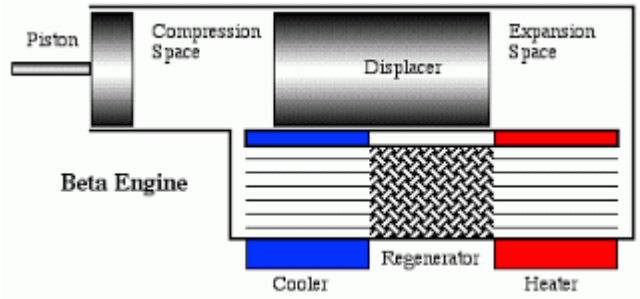
Todos os motores Stirling têm uma função semelhante, mas podem ser classificados em tipos diferentes de acordo com a posição do seu pistão de energia e a imersão deste. Assim, podemos classificá-los em três grupos:

Figura 14: Motor Stirling tipo Alfa.



- **Alfa:** Este tipo de motor foi projetado por U. S. Rider. Possui dois pistões instalados em cilindros independentes, cujo movimento alternado faz o gás deslocar-se entre o espaço quente e o espaço frio. Ambos os cilindros estão ligados por um tubo onde está situado o regenerador que armazena e transfere o calor. O mecanismo deste motor é bastante simples, no entanto, as altas temperaturas fazem com que os materiais se deteriorem mais facilmente, obrigando a uma manutenção mais rígida.

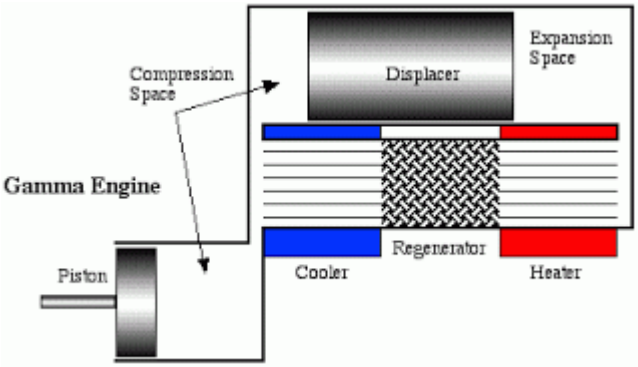
Figura 15: Motor Stirling tipo Beta.



- **Beta:** Este foi o tipo de motor projetado por Robert Stirling. É constituído por um cilindro dividido em duas zonas, uma quente e outra fria, que, com ajuda de dois pistões dentro desse mesmo cilindro, vão permitir movimentar o ar quente para a zona de ar frio e vice-versa. Para permitir o funcionamento deste motor, um dos pistões encontra-se a 90 graus. Do ponto de vista termodinâmico é o motor mais eficiente, mas sua construção está complicada porque o pistão deve ter duas varas e permitir a passagem da haste que se move a alavanca.

- **Gamma:** Este motor é muito semelhante ao do tipo beta, porém, os seus cilindros são diferentes, permitindo assim uma separação completa entre a zona de compressão do ar e da expansão. Do ponto de vista termodinâmico é menos eficaz do que o do tipo beta, pois o trabalho de expansão é feito inteiramente a baixas temperaturas. Nos dois últimos tipos de motores, existe um deslocador que permite isolar as zonas quente e fria e, ao mesmo tempo, movimentar uma grande quantidade de gás, deixando uma folga para que ele passe de um lado para o outro.

Figura 16: Motor Stirling tipo Gamma.



Nos dois últimos tipos de motores, existe um deslocador que permite isolar as zonas quente e fria e, ao mesmo tempo, movimentar uma grande quantidade de gás, deixando uma folga para que ele passe de um lado para o outro.

3.2.3 Vantagens da utilização do Motor de Combustão Externa

1. **É pouco poluente:** ao contrário dos motores de combustão interna, nos motores de Stirling, a combustão é contínua, permitindo assim uma maior eficiência, pois gasta mais completa e eficientemente o combustível que estiver a utilizar.
2. **É alimentado por diversos combustíveis:** Os motores Stirling podem utilizar quase todas as fontes energéticas conhecidas, desde gasolina, etanol, metanol, gás natural, Diesel, biogás, energia solar e até mesmo calor geotérmico, entre outros.
3. **O seu funcionamento silencioso:** o facto de não possuir válvulas nem muitos elementos móveis, o nível de ruído e vibração é baixíssimo.
4. **Baixo desgaste interno e consumo de lubrificante:** os produtos da combustão não entram em contato direto com as partes móveis do motor e, por conseguinte, não há contaminação do lubrificante. Nos motores Stirling, ao contrário dos motores de combustão interna, as temperaturas são menores e as paredes do motor podem ser refrigeradas o que permite inclusive o uso da água como lubrificante no lugar dos óleos.

5. **Permite uma boa adaptação:** como o motor de Stirling é composto por elementos simples, estes podem ser dispostos de diversas maneiras, possibilitando assim uma maior adaptação a diferentes espaços físicos.

3.2.4 Desvantagens da mesma utilização

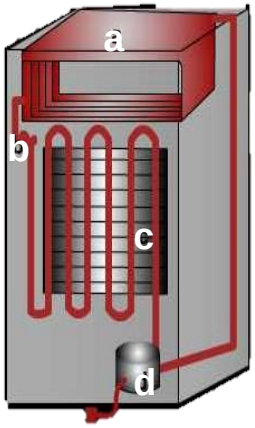
1. **Elevado custo:** O motor Stirling ainda é mais caro do que, por exemplo, um motor Diesel da mesma potência. Esta diferença de preço, provem da fabricação e da produção dos seus elementos que, apesar de serem simples, têm de ter materiais específicos.

2. **Perfeita vedação:** os motores Stirling necessitam de boa vedação das câmaras que contém o gás de trabalho para evitar a contaminação do lubrificante. O rendimento do motor é normalmente maior com altas pressões, conforme o gás utilizado, porém quanto maior a pressão de trabalho maior é a dificuldade de vedação do motor.

3.4 Ciclo da Geladeira

Os sistemas de refrigeração provocam o resfriamento de interiores, como ar condicionados, refrigeradores e freezers. Os objetivos principais da refrigeração são armazenamento de alimentos a baixas temperaturas para evitar ação de bactérias e o surgimento bolor ou fermentação e manter uma temperatura estável em ambientes ou em equipamentos eletrônicos. O resfriamento ocorre através do processo de trocas de calor.

Figura 17: Partes de uma Geladeira

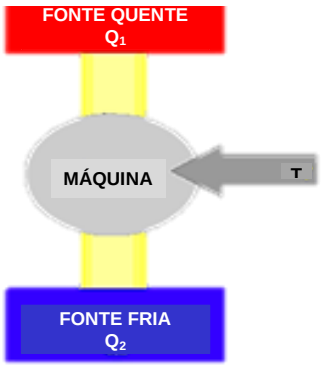


a – congelador
b – válvula
c – condensador
d – compressor

O refrigerador é uma máquina térmica em que a troca do calor se dá do sistema mais frio (interior da geladeira) para o sistema mais quente (meio externo).

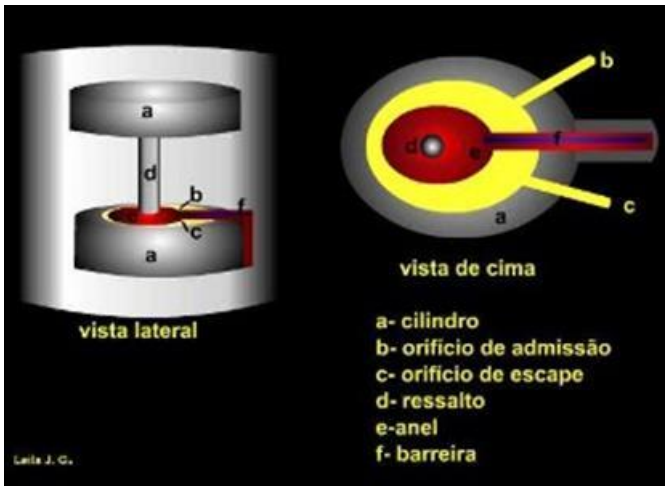
Mas isso não viola a Segunda Lei da termodinâmica que diz que a transferência de calor é sempre do sistema mais quente para o mais frio?

Figura 18: Fonte quente e fria.



Violaria se esse processo fosse espontâneo como preconiza a Segunda Lei, mas para que as geladeiras funcionem dessa forma, é necessário um fornecimento externo de energia que ocorre através de um compressor que realiza trabalho mecânico sobre uma substância refrigerante, tornando possível o sentido inverso da troca de calor. O primeiro refrigerador utilizável foi construído pelo engenheiro americano Jacob Perkins, em 1834, e utilizava como substância refrigerante o dióxido sulfúrico que ferve e se condensa a temperaturas abaixo de zero.

Hoje a escolha da substância depende da finalidade do refrigerador e do impacto ambiental. Nas geladeiras domésticas, a substância utilizada é o fréon que, a baixa pressão se vaporiza e a alta pressão se condensa. Para essas mudanças de pressão utiliza-se um compressor e uma válvula descompressora, porém, o freon é uma substância que agride a camada de ozônio e está sendo substituído por outras substâncias, como o CFC (clorofluorcarbono) ou HCFC (hidroclorofluorcarbono).



Basicamente, uma geladeira é constituída por um **compressor**, um **condensador**, uma **válvula** e um **congelador** dispostos como na figura 24.

3.4.1 Como funciona um refrigerador?

É uma máquina térmica que opera em ciclos semelhantes aos motores de combustão interna.

O ciclo começa no compressor (a figura mostra um modelo de compressor), que é acionado por um motor elétrico. A função do compressor é de aumentar a pressão o suficiente para que liquefaça em temperaturas próximas da temperatura ambiente.

Quando o êmbolo do cilindro desce, a válvula de admissão se abre permitindo a passagem do gás refrigerante no cilindro.

No compressor, o ressalto em rotação faz virar o anel descentralizado contra a parede do cilindro e a barreira faz pressão contra o anel o que garante a pressão do gás que é aquecido à temperatura superior a do ambiente.

Quando o êmbolo torna a subir, a válvula de admissão se fecha e a de escape se abre, forçando o gás, a alta pressão, a passar para o condensador (serpentina), onde é comprimido e se liquefaz, trocando calor com o meio externo e, assim, o gás diminui de temperatura. É devido a essa troca de calor com o meio que não se recomenda embutir a geladeira em armários com pouca ventilação e nem colocar roupas para secar atrás do refrigerador.

Após liquefeito, o gás passa para a válvula de expansão onde sofre descompressão e se expande, chegando ao congelador e daí volta ao compressor e o ciclo recomeça.

3.4.2 Onde se localizam as fontes quente e fria no refrigerador?

A fonte fria é a parte interna, junto à serpentina do congelador, e a fonte quente é o ambiente externo. É o fluido refrigerante que retira o calor da fonte fria ao evaporar e o transfere para a fonte quente.

3.4.3 O que realiza trabalho no refrigerador?

O compressor. Como não há trocas de calor, o trabalho realizado pelo compressor equivale a variação de energia interna da substância refrigerante. Esse trabalho provoca a troca de calor do interior da geladeira (fonte fria) para o meio ambiente (fonte quente), ou seja, no sentido inverso ao espontâneo.

3.4.4 O funcionamento de um freezer é semelhante ao de uma geladeira comum?

O freezer funciona como o refrigerador, porém possui um evaporador que mantém a temperatura, no seu interior, próxima dos - 20 $^{\circ}$C, possuindo um compressor mais potente e comprime uma maior quantidade de substância

refrigerante o que permite que o condensador troque maior quantidade de calor com o meio ambiente.

3.4.5 Por que o congelador fica na parte superior da geladeira?

Pelo fato de que no interior do refrigerador o ar quente sobe se resfria na região do congelador e torna a descer. Realizando o processo de troca de calor por convecção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAIN, Marshall. "HowStuffWorks - Como funcionam os motores de carros". Publicado em 01 de abril de 2000 (atualizado em 14 de maio de 2008). <http://carros.hsw.uol.com.br/motores-de-carros.htm>, acesso em fev/2009.

BRAIN, Marshall. "HowStuffWorks - Como funcionam os motores a diesel". Publicado em 01 de abril de 2000 (atualizado em 14 de abril de 2008) <http://carros.hsw.uol.com.br/diesel.htm>, acesso em fev/2009.

GASPAR, Alberto. Física Série Brasil. São Paulo, Ática, 1a Ed., 2007.

http://www.if.ufrgs.br/cref/leila/refri.htm

Inovação Tecnológica (Óleo de cozinha em motores Diesel), acesso em set/2008.

SILVEIRA, Fernando L. Máquinas térmicas à combustão interna de Otto e de Diesel. Disponível em: <www.if.ufrgs.br/~lang/maqterm.pdf>. Acesso em fev/2009.
Wikipedia (Motor a Diesel), acesso em set/2008.

APÊNDICE D – II

LISTA COM OS CONTEÚDOS PARA DIVIDIR OS GRUPOS

1 – TRANSFORMAÇÃO ADIABÁTICA

2 – TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA

3 – TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA

4 – TRANSFORMAÇÃO ISOVOLUMÉTRICA

5 –CICLO DE CARNOT

6 –CICLO DE DIESEL

7 –CICLO DE OTTO

8 –CICLO DE STIRLING

9 –CICLO DA GELADEIRA

APÊNDICE D – III

ESCOLA: _____

PROFESSOR(A): _____

FICHA DE AVALIAÇÃO DA MÚSICA

NOME DA MÚSICA:_____

TEMA DA MÚSICA:_____

AUTORES:_____

CRITÉRIOS DE ACRÉSCIMO	PONTUAÇÃO POSITIVA (0 a 2 pontos) Cada item
Conteúdo referente ao tema.	
Total de palavras referentes ao tema.	
Uso de palavras com significado físico correto.	
Utilização de temas e/ou conceitos de acordo com o tema estipulado.	
Ter ritmo.	
TOTAL	

CRITÉRIOS DE DESCONTO	PONTUAÇÃO NEGATIVA (0 a - 5 pontos) Cada item
Fuga do tema.	
Uso de palavras com significado físico incorreto.	
TOTAL	

CRITÉRIOS	PONTUAÇÃO FINAL
Soma-se o total da pontuação positiva com o total da pontuação negativa. Essa pontuação será a nota atribuída a esta atividade.	

UNIDADE 5

PRIMEIRA E SEGUNDA LEIS TERMODINÂMICAS

- **Duração da Unidade:** 3 aulas → aproximadamente 150 minutos.

- **Objetivos da Unidade**: Compreender as 1ª e 2ª leis termodinâmicas através do diagrama aproximado do Ciclo Stirling criado a partir dos dados coletados com o protótipo didático do Motor Stirling utilizando o software livre *LibreOffice Calc*.

- **Papel do professor:**

Em alguma aula anterior o professor deverá escolher ou esperar que os alunos se voluntariem para a construção do protótipo do motor Stirling Didático, em um horário extraclasse. Os materiais e o manual para a construção do protótipo do Motor estão no final deste guia. O ideal seria construir um protótipo para cada grupo de alunos. É possível esta construção, pois os materiais utilizados são de baixo custo, o preço total de cada protótipo sai em torno de R$ 170,00. Este valor é mais alto por causa do Manômetro que foi comprado pelo valor R$ 150,00, mas se o professor e/ou os alunos puderem ir a algum hospital, ou ferro velho de materiais hospitalares o valor pode diminuir significativamente, pela internet conseguimos encontrar manômetros de R$ 25,00.

Depois do(s) protótipo(s) ser(em) construído(s) este(s) deve(m) ser levado(s) para sala de aula onde o professor o apresentará, mostrando suas partes e explicando para que elas servem. Nesta mesma aula deverá dividir os alunos em grupos para realização do experimento conforme o roteiro descrito no apêndice E – I. Como construir a planilha do software *LibreOffice Calc* utilizada na construção dos gráficos segue no apêndice E – II. Sugestão: Se os alunos tiverem alguma noção de informática a planilha do *LibreOffice Calc* pode ser construída por eles seguindo o apêndice E. Isto tornará a aluna mais interessante e atrativa.

APÊNDICE E – I

ROTEIRO III – EXPERIMENTO DIAGRAMA DO MOTOR STIRLING

ESCOLA: _____

DATA:____/_____/____ – SÉRIE/TURMA:_____

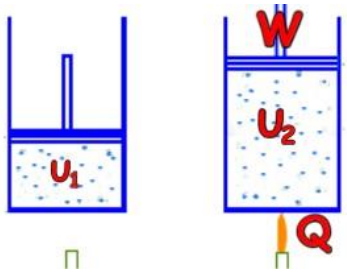
PROFESSOR(A):_____

COMPONENTES:_____

_____

QUESTÃO PRÉVIA

1º) O que acontece quando aquecemos um gás confinado em um cilindro comprimido por um êmbolo, observe a figura abaixo?



MATERIAIS

- Motor Stirling didático.
- Lamparina com álcool etílico 92% e proteção para a lamparina.
- Luvas para proteção ou pano úmido.
- Fósforo ou isqueiro.
- Câmera fotográfica filmadora ou celular que filme.
- Paquímetro, ou fita métrica.
- Calculadora.
- Computador com o LibreOffice Calc instalado.

Figura 1: Motor Stirling didático

Figura 2: Lamparina com álcool 92%.

Figura 3: Proteção para a Lamparina.

Figura 4: Luvas para proteção.

Figura 5: Paquímetro.

PROCEDIMENTOS

1. Acendam a lamparina, encaixem a proteção e depois a coloquem embaixo do motor Stirling, tomando o cuidado para a chama ficar bem direcionada no fundo da lata inferior do motor. Coloquem água fria ou a temperatura ambiente no cilindro de resfriamento (parte superior da lata). Observe a imagem abaixo. Comece a filmar.

2. Espere alguns minutos e depois gire o disco. Observe o que acontece com o êmbolo e com o manômetro.

3. Cuidado com a filmagem, pois nela tem que ser possível visualizar o êmbolo e o manômetro se movendo. Uma dica é utilizar um celular com flash para clarear o local do êmbolo.

4. Após alguns minutos, assopre o pavio da lamparina para apaga-la. Nunca deixa a lamparina acessa por muito tempo.

5. Agora passe o vídeo para o computador e verifique se é possível ver o êmbolo e o manômetro se movimentando, se não for possível reinicie do procedimento número 1. Se for necessário reiniciar o procedimento retire a água do cilindro de resfriamento e acrescente outra nova.

ATIVIDADES

1º) Meça o diâmetro (d) da lata de suporte do manômetro. Anote na tabela 1 da questão 2 e calcule o seu volume inicial (V_i). Utilize a fórmula para o cálculo do volume do cilindro.

$$V_i = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot h$$

2º) Retire o êmbolo do suporte do motor, com cuidado. Meça seu tamanho e anote na tabela 1. Pegue o vídeo e passe para um computador ou notebook, para facilitar sua visualização. Pare o vídeo e vá anotando na tabela 1 a altura do êmbolo com a respectiva altura da bolinha que está dentro do manômetro.

OBSERVAÇÕES:

- **1º Ponto:** este valor deve representar o local onde temos a pressão máxima e o volume mínimo deste sistema.
- **2º Ponto:** este valor deve representar o local onde temos a pressão e o volume aproximadamente iguais.

- **3º Ponto:** este valor deve representar a mesma altura da parte superior do êmbolo, mas com o valor da pressão diferente da encontrada no segundo ponto.
- **4º Ponto:** este valor deve representar o local onde temos a pressão quase máxima e o volume mínimo para este sistema.
- **5º Ponto:** deve ser igual ao primeiro ponto.

TABELA 1

ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA DO MANÔMETRO
1				
2				
3				
4				
5				

3º) Calcule a altura real do êmbolo e anote na tabela 2. Observação: subtraia a altura da parte superior do êmbolo pelo tamanho do êmbolo.

4º) Calcule o volume correspondente para cada altura real do êmbolo e anote na tabela 2.

5º) Calcule o valor da pressão e anote na tabela 2. Multiplique os valores da altura da bolinha do manômetro por 0,23333, pois o manômetro que está no motor está graduado até 3,5 kgf/cm^2.

TABELA 2

ORDEM	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm^3)	PRESSÃO (kgf/cm^2)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

6º) A partir dos dados obtidos nas tabelas 1 e 2, construa o gráfico deste experimento, representando seu ciclo que relaciona a Pressão e o Volume, utilizando a planilha do LibreOffice Calc que está instalada no computador.

7º) Desenhe o gráfico ideal para o ciclo Stirling e o gráfico que obtiveram com seus dados através do computador.

8º) Identifiquem no gráfico obtido quais transformações termodinâmicas estão ocorrendo e escreva-as abaixo.

QUESTÕES

1. O gráfico que foi obtido no LibreOffice Calc é igual ou semelhante ao gráfico idealizado para o motor Stirling inventado por Robert Stirling? Justifique.

2. Quais conclusões podem ser obtidas a partir da análise do gráfico obtido?

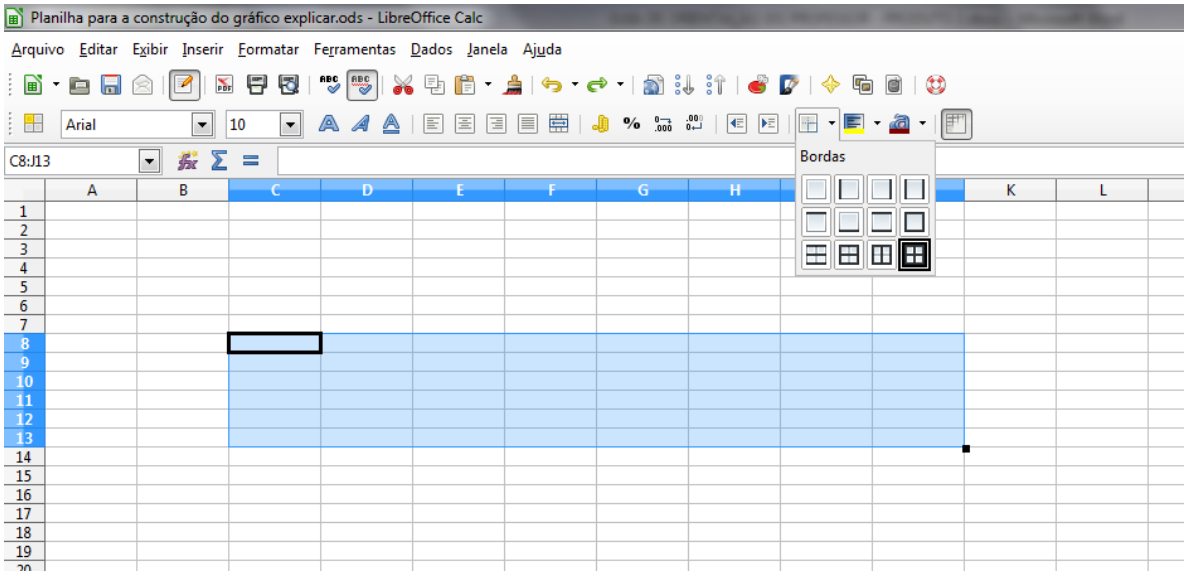
APÊNDICE E – III

Neste apêndice encontram-se todas as orientações necessárias para a construção da planilha do *LibreOffice Calc*. Por ser um software livre você pode baixá-lo em vários sites. O que baixamos foi no site oficial do Libreoffice, neste link: https://pt-br.libreoffice.org/baixe-ja/libreoffice-novo/

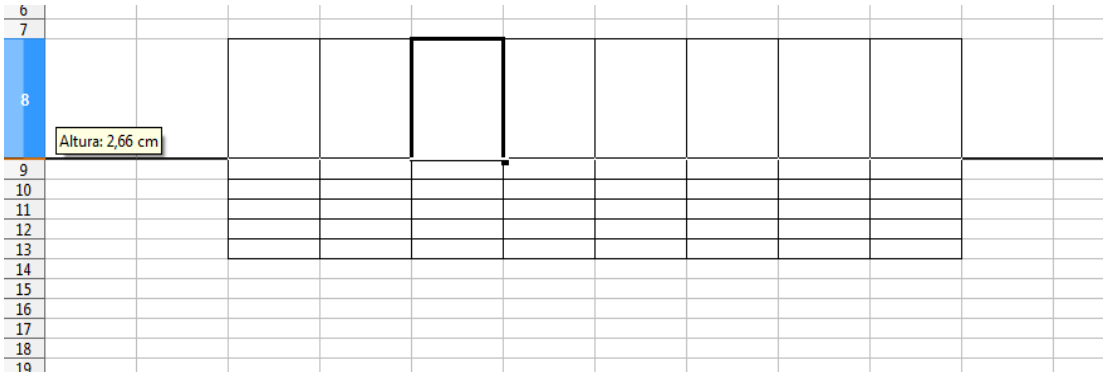
Depois de baixado e instalado é só abrir a planilha e seguir os seguintes passos.

1º Passo: Abra a planilha do *LibreOffice Cal* e clique em **Arquivo**, **Salvar como**¸ dê um nome para sua planilha e depois clique em **Salvar**, pronto sua planilha está salva agora é só você sempre que fizer uma alteração na planilha clicar em salvar ou apertar **CRTL+S.**

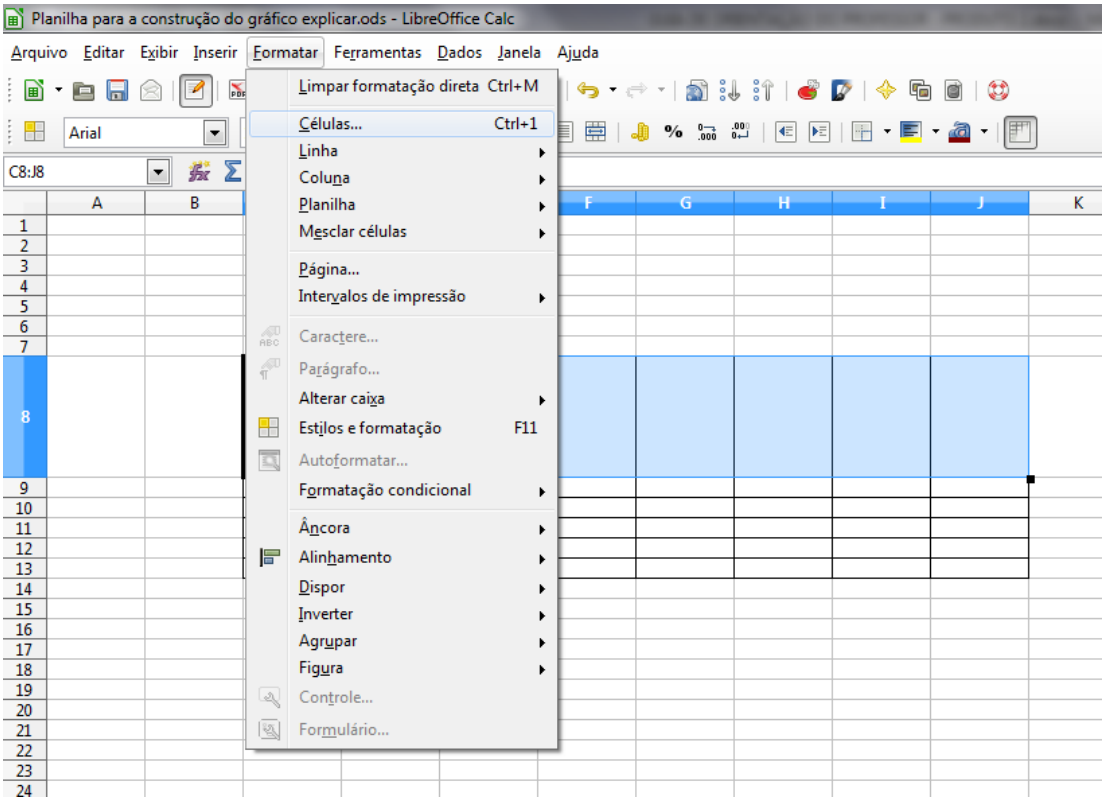
2º Passo: Selecione do C8 até o J13 e clique em inserir todas as bordas como na figura 1 abaixo.



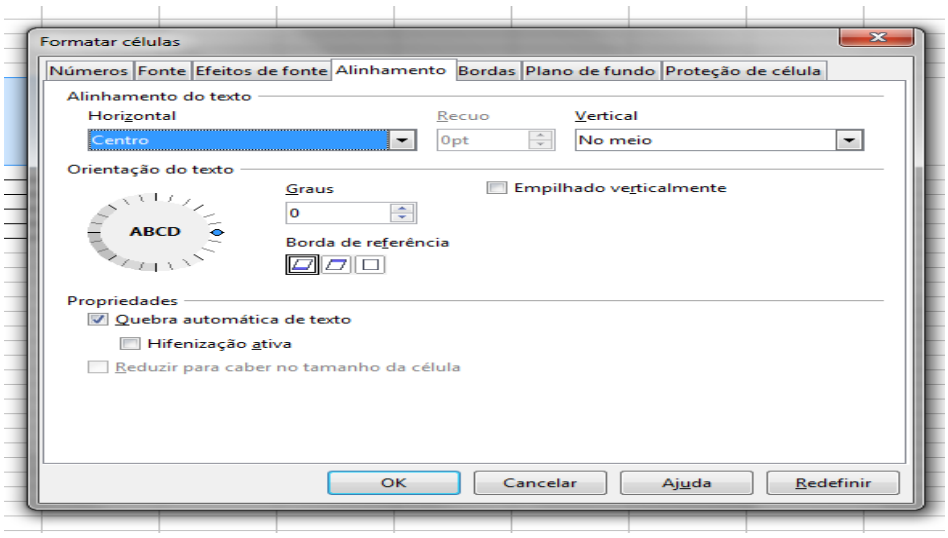
3º Passo: Aumente a linha oito até 2,66 como mostra na figura abaixo.



4º Passo: Selecione as células C8 até J8 e clique em FORMATAR depois em CÉLULAS, conforme a figura.



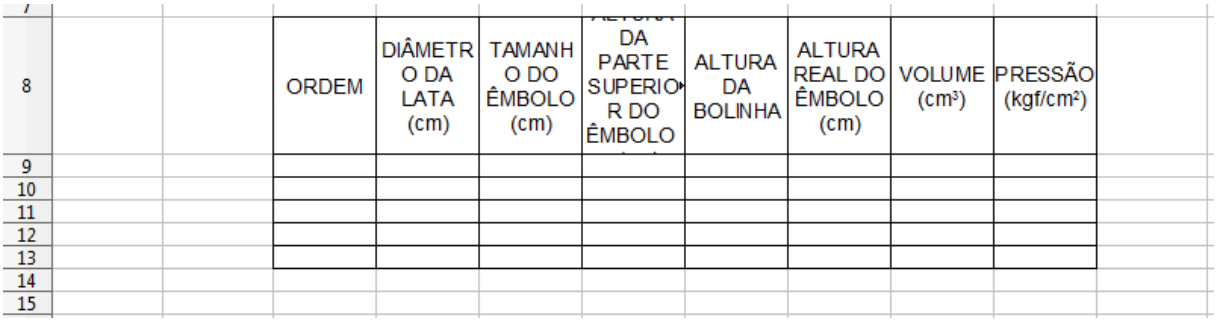
5º Passo: Depois na janela que irá abrir clique na aba ALINHAMENTO, nesta aba selecione **Centro** na opção Horizontal e na Vertical selecione **No meio**. Nas propriedades marque a opção quebra automática de texto. Depois clique em ok. Observe a imagem abaixo.



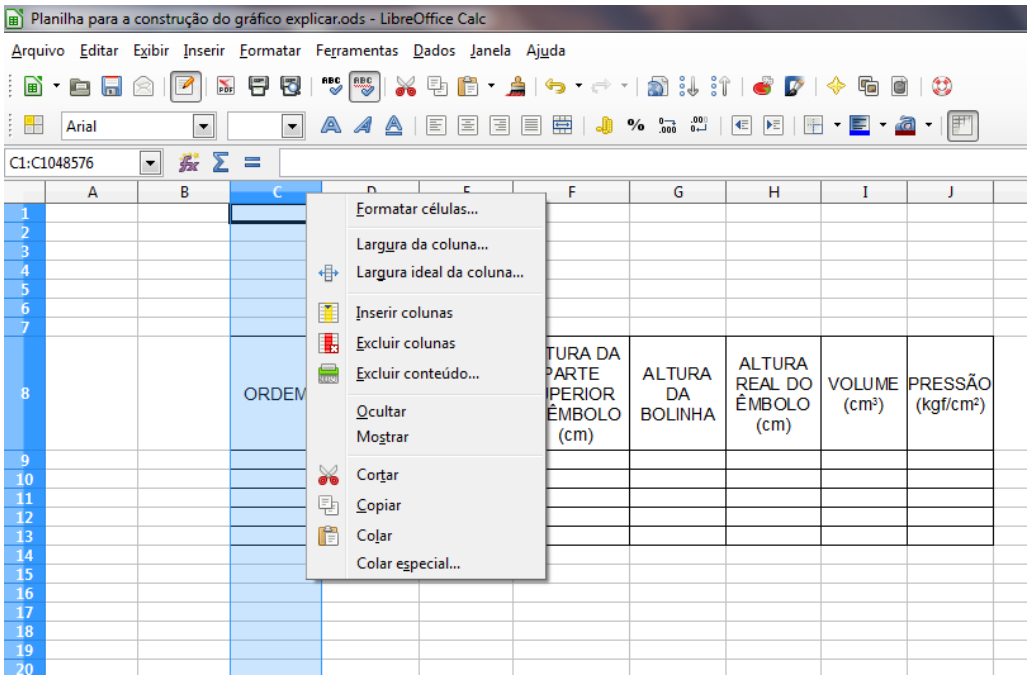
6º Passo: Depois de formatada as células escreva os nomes do cabeçalho da linha 8, conforme mostra a imagem abaixo.

ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm3)	PRESSÃO (kgf/cm2)

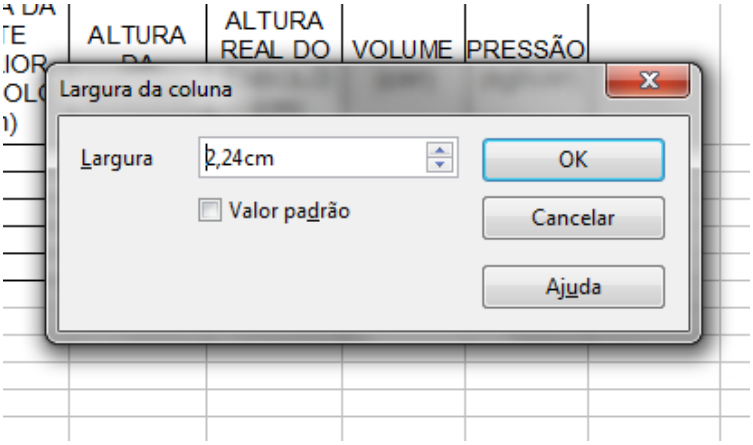
Devido o tamanho da coluna as palavras não devem estar aparecendo como mostra a imagem abaixo:



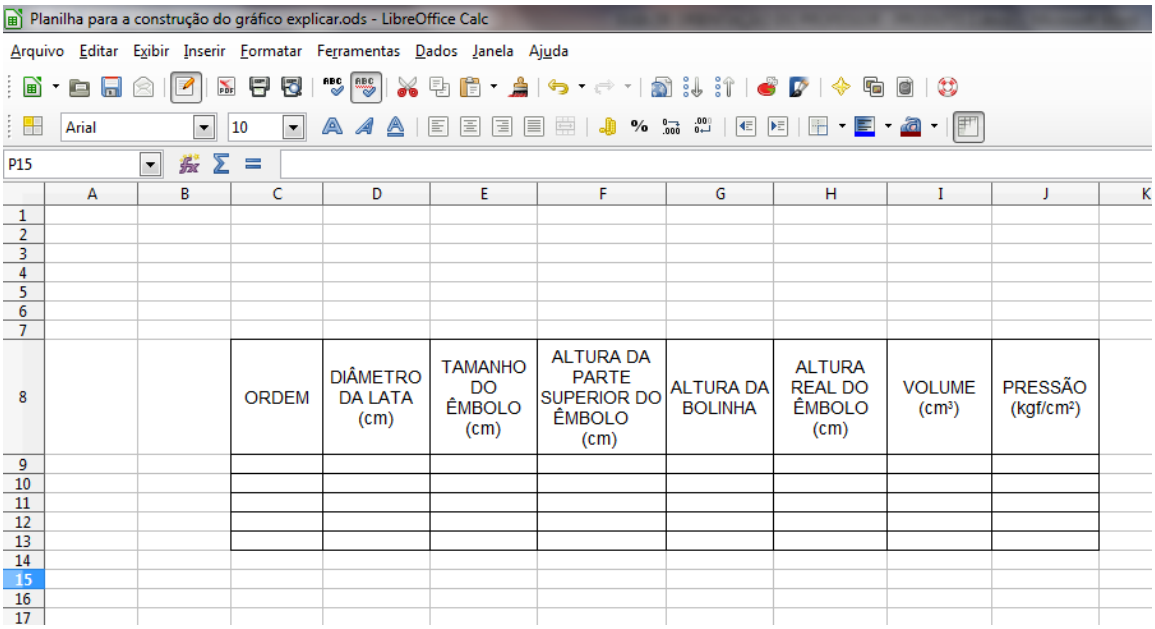
Para resolver este problema selecione a coluna desejada e clique com o lado direito do mouse, aparecerá uma aba igual a mostrada na imagem abaixo, clique em largura da coluna.



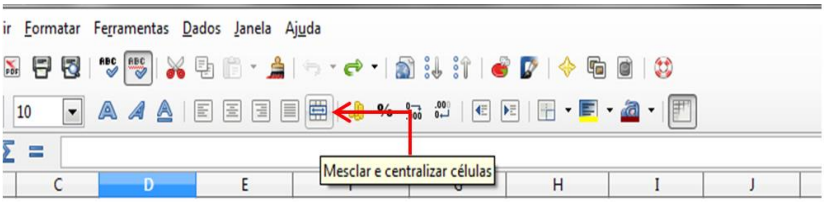
Irá aparecer uma tela chamada largura da coluna conforme a imagem abaixo, depois é só digitar a medida da coluna conforme indicado a seguir e clicar em OK. Você deve repetir este processo para cada coluna. As medidas das colunas são: coluna C – 2,24 cm; coluna D – 2,61 cm; coluna E – 2,55 cm; coluna F – 3,13 cm; coluna G – 2,61 cm; coluna H – 2,76 cm; coluna I – 2,52 cm e coluna J – 2,60.



Ao término sua planilha deve estar assim:



7º Passo: Agora vamos formatar as células D9:D13, para que elas contenham apenas um único valor. Selecione-as e clique em mesclar e centralizar células conforme a imagem abaixo.



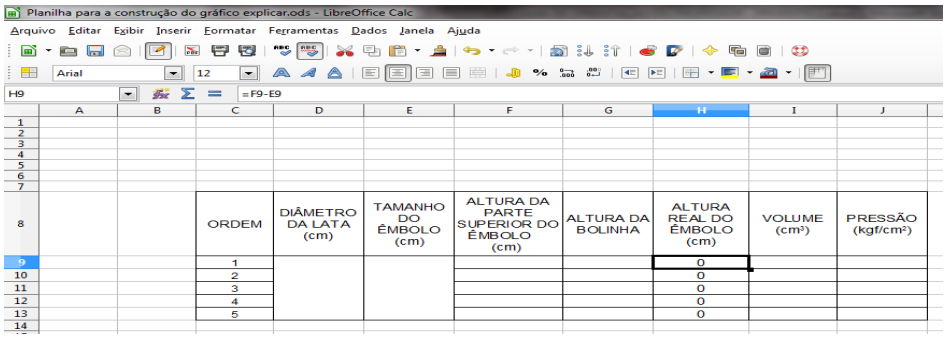
Repita este procedimento para as células E9:E13. Ao final você deverá ter uma tabela assim:

ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm³)	PRESSÃO (kgf/cm²)

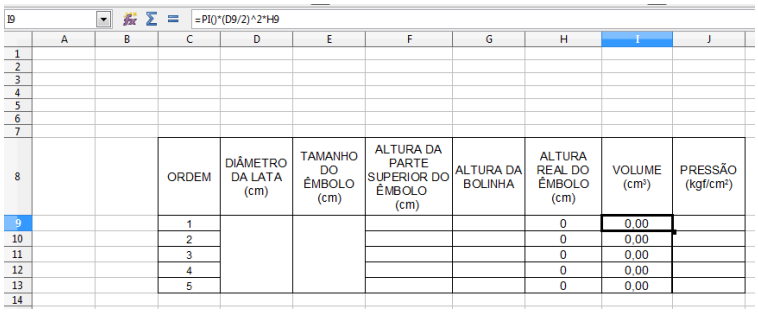
8º Passo: Na coluna ordem insira os numerais de 1 até 5 (um em cada linha), depois os selecione e aperte as teclas **CTRL + E** ao mesmo tempo para centralizá-los. Sua tabela deve ficar assim:

ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm³)	PRESSÃO (kgf/cm²)
1							
2							
3							
4							
5							

9º Passo: Agora vamos inserir as fórmulas necessárias para os cálculos. Clique na célula H9 e escreva **=ABS(F9-E9)**, tecle ENTER, agora coloque o cursor na extremidade inferior da célula até formar uma cruz e depois arraste até a célula H13. Sua tabela ficará assim:

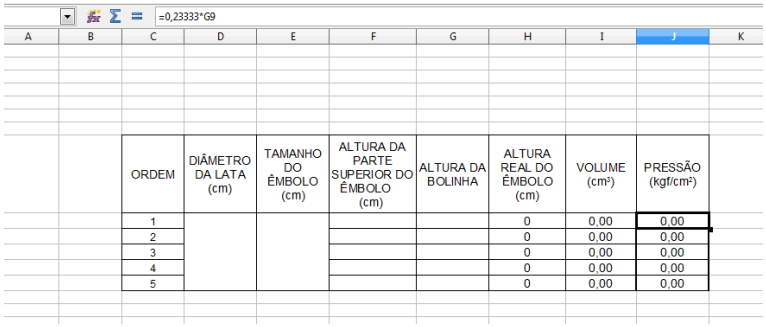


10º Passo: Depois clique na célula I9 e escreva: **=PI()*(D9/2)^2*H9** depois de terminar de escrever tecle ENTER, agora coloque o cursor na extremidade inferior da célula até formar uma cruz e depois arraste até a célula I13. Sua tabela ficará assim:



ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm³)	PRESSÃO (kgf/cm²)
1					0	0,00	
2					0	0,00	
3					0	0,00	
4					0	0,00	
5					0	0,00	

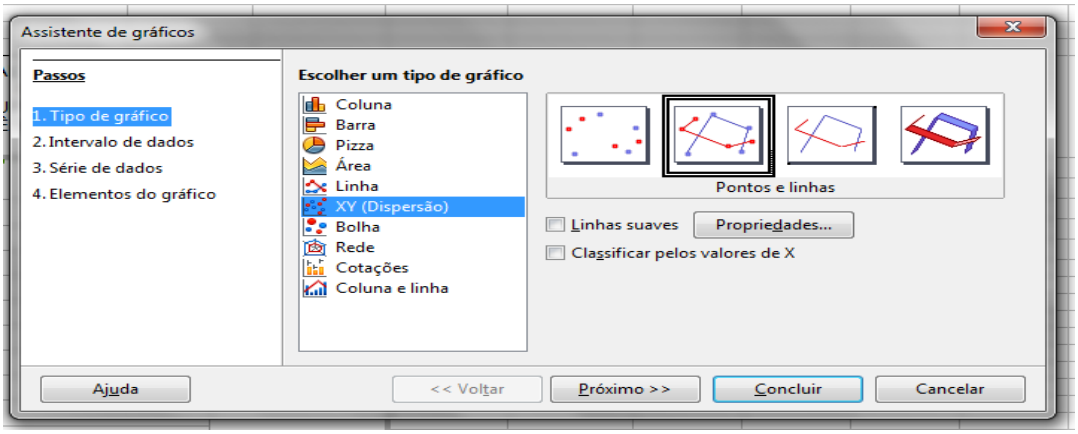
11º Passo: Vamos agora inserir a fórmula para calcularmos a pressão. Devemos multiplicar os valores da altura da bolinha do manômetro por 0,23333, pois o manômetro que está no motor está graduado até 3,5 kgf/cm^2. Então clique na célula J9 e escreva: **=0,2333*D9** depois de terminar de escrever tecle ENTER, coloque o cursor na extremidade inferior da célula até formar uma cruz e depois arraste até a célula I13. Sua tabela ficará assim:



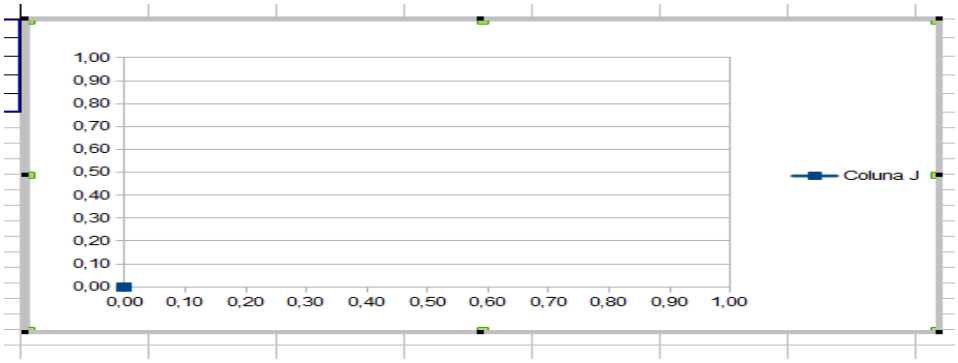
ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm³)	PRESSÃO (kgf/cm²)
1					0	0,00	0,00
2					0	0,00	0,00
3					0	0,00	0,00
4					0	0,00	0,00
5					0	0,00	0,00

Sua tabela já está pronta para receber os valores obtidos através do filme. Falta apenas selecionarmos os valores para criarmos o gráfico.

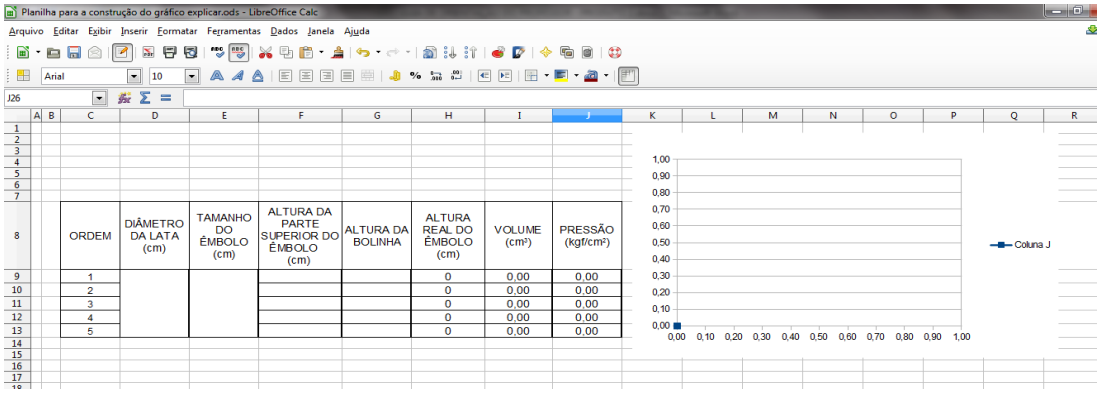
12º Passo: Para criarmos o gráfico devemos selecionar as células I9 até J13, clicar no ícone gráfico e depois na aba que irá aparecer selecionar o tipo de gráfico chamado **XY (Dispersão)**, selecione **pontos e linhas** e clique em **concluir.**



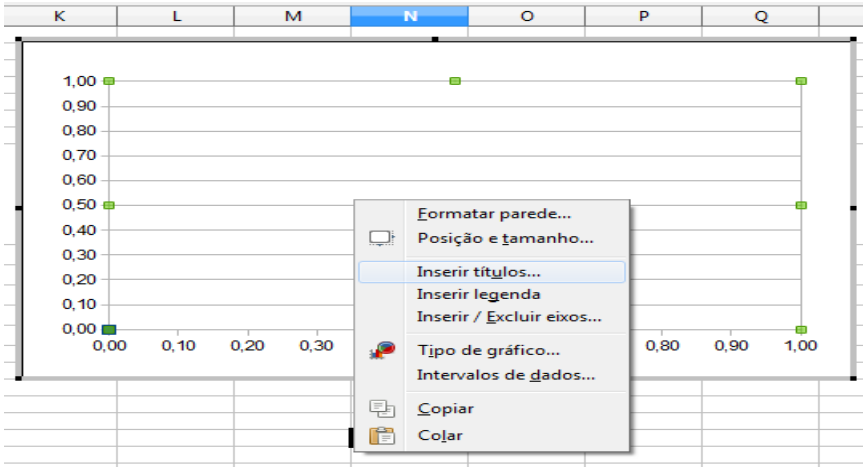
Deverá surgir uma tela onde seu gráfico será plotado. No momento como os dados ainda não foram colocados na tabela, o gráfico não aparecerá, o que deve aparecer é apenas um único ponto. A imagem obtida deve ser assim:



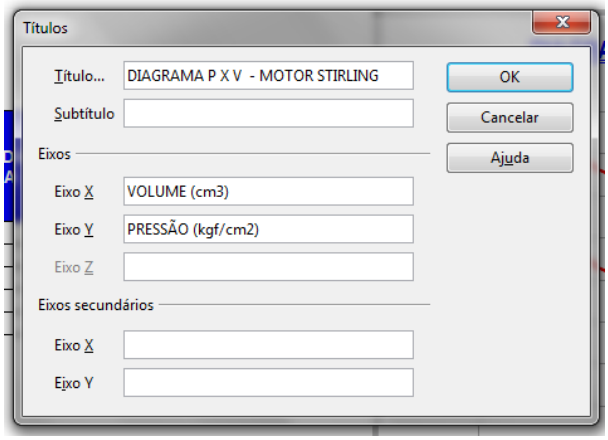
Se a área do gráfico mostrada na figura acima ficar em cima da tabela de seus dados, clique em cima da área do gráfico e arraste para fora da tabela, ela deve ficar assim:



13º Passo: Agora sua tabela e seu gráfico irão aparecer, só falta agora o título do gráfico, e o título dos eixos. Para isto, clique no botão direito do mouse e clique onde está escrito Inserir título.

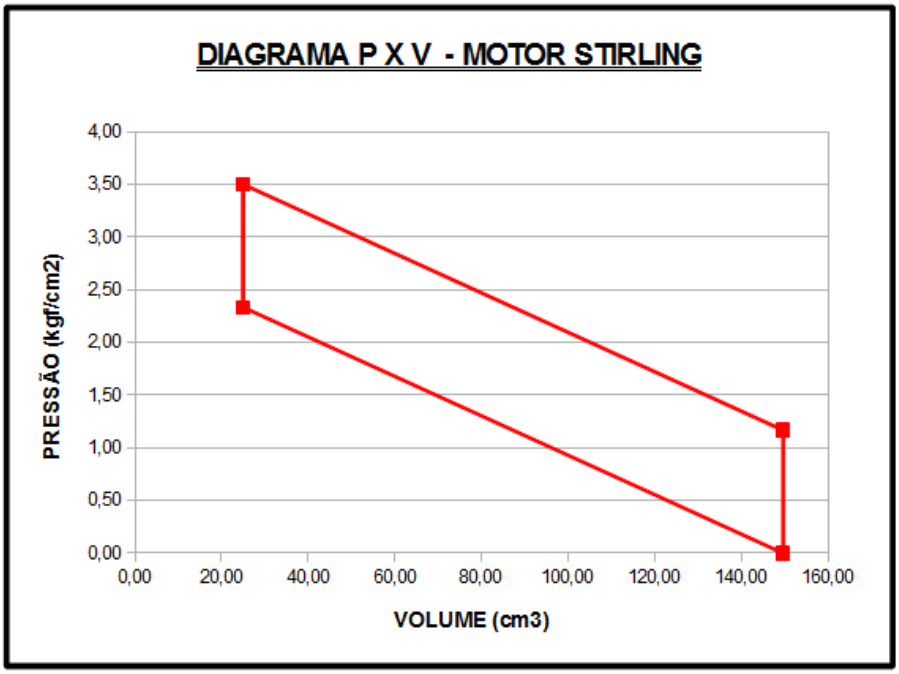


Escreva onde aparece Título: **DIAGRAMA P X V – MOTOR STIRLING**, no eixo X escreva: **VOLUME (cm3)** e no eixo Y escreva: **PRESSÃO (kgf/cm2).**



Agora sua planilha está pronta é só você inserir os dados que irá aparecer o gráfico, como podemos observar no exemplo abaixo onde temos dados inseridos.

ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm^3)	PRESSÃO (kgf/cm^2)
1			4	15	0,8	24,94	3,50
2			8	5	4,8	149,63	1,17
3	**6,3**	**3,2**	8	0	4,8	149,63	0,00
4			4	10	0,8	24,94	2,33
5			4	15	0,8	24,94	3,50



UNIDADE 6

PRIMEIRA E SEGUNDA LEIS TERMODINÂMICAS

- **Duração da Unidade:** 3 aulas → aproximadamente 150 minutos.

- **Objetivos da Unidade**: aprofundar a utilização das ferramentas matemáticas como estruturante do raciocínio físico através da resolução de exercícios.

- **Papel do professor:**

Nesta aula depois dos alunos já terem discutido e analisado os diagramas e o motor Stirling, devemos apresentar o enunciado das leis Termodinâmicas através de uma aula (para facilitar a revisão dos conceitos e leis termodinâmicos apresentamos no apêndice F – I um breve resumo) e em seguida partir para as resoluções de exercícios, todos os exercícios propostos com suas respectivas soluções são apresentados no apêndice F – II.

No início o professor resolve alguns exercícios e a seguir solicita que os alunos em grupos tentem resolver os outros. Cada grupo deve receber exercícios diferentes, para evitar que os grupos fiquem querendo apenas copiar dos outros.

Na próxima outra aula o(a) professor(a) deve trocar os exercícios entre os grupos sem informar aos discentes que eles estão recebendo questões já resolvida por outro grupo. Depois de algum tempo, após terem tentado resolver o(a) professor(a) informa que eles estão resolvendo exercícios já resolvidos por outros grupos e que caso apresentem dúvidas devem pedir auxílio para um componente do grupo que já tivesse resolvido. O(a) professor(a) necessita informar que todos devem entregar os exercícios respondidos em seus cadernos.

Para evitar que os alunos apenas copiem dos outros, você deve dizer aos discentes que o grupo que terminar primeiro de resolver todos os exercícios propostos receberá dois pontos, mas se no momento que fossem ensinar o outro grupo ensinassem errado o grupo que ensinou errado perde um ponto. E se o participante ao invés de ensinar apenas dê a resposta ocorrendo assim a famosa “cola” o grupo que propiciou isto perderá 2 pontos.

APÊNDICE F – I

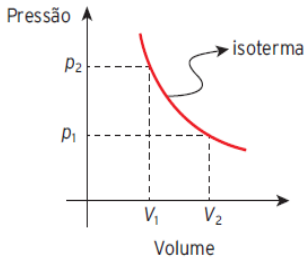
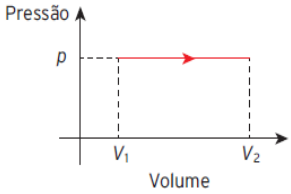
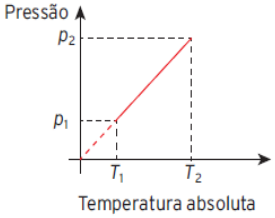
Comportamento dos gases

- São características importantes de um gás sua compressibilidade e sua expansibilidade.
- Gás ideal é um gás hipotético cujas moléculas não apresentam volume próprio. O volume ocupado por um gás ideal corresponde aos vazios entre suas moléculas, ou seja, ao volume do recipiente que o contém.
- Um gás ideal não sofre mudanças de estado, permanecendo sempre no estado gasoso.
- Em condições específicas um gás real pode apresentar comportamento análogo ao de um gás ideal.
- O estado de um gás é caracterizado pelos valores assumidos por três grandezas: o volume (V), a pressão (p) e a temperatura (T).

Transformações gasosas

A **transformação de estado** de um gás ocorre quando pelo menos duas de suas variáveis de estado se modificam.

Transformações gasosas particulares

Tipo	Descrição	Consequência	Diagrama	Lei associada
Isotérmica	A temperatura é mantida constante.	A pressão varia em função do volume.		**Lei de Boyle** Quando a temperatura (T) de um gás é mantida constante, a pressão (p) e o volume (V) são inversamente proporcionais: $p \cdot V = k$ A constante de proporcionalidade só depende da temperatura.
Isobárica	A pressão é mantida constante.	A temperatura varia em função do volume.		**Lei de Gay-Lussac** Quando a pressão (p) de um gás é mantida constante, o volume (V) e a temperatura (T) são diretamente proporcionais: $\frac{V}{T} = k$ A constante de proporcionalidade só depende da pressão.
Isovolumétrica (ou isocórica)	O volume é mantido constante.	A pressão varia em função da temperatura.		**Lei de Charles** Quando o volume (V) de um gás é mantido constante, a pressão (p) e a temperatura (T) são diretamente proporcionais: $\frac{p}{T} = k$ A constante de proporcionalidade só depende do volume.

Hipótese de Avogadro

Volumes iguais de diferentes gases, estando à mesma temperatura e à mesma pressão, contêm o mesmo número de partículas.

Experimentalmente chegou-se a um valor para esse número invariável de moléculas, que ficou conhecido como **número de Avogadro**, qual seja:

$$N_0 \cong 6{,}023 \cdot 10^{23} \text{ partículas/mol}$$

Definem-se:

- **Mol**: conjunto de $6{,}023 \cdot 10^{23}$ partículas de um mesmo gás.
- **Número de mols** (n) contido em certa massa (m), em grama, de uma substância:

$$n = \frac{m}{M}$$

em que M é a massa, em grama, por 1 mol da substância.

Equação de Clapeyron

Clapeyron estabeleceu a existência de uma proporcionalidade ao número de mols (n) de um gás ideal. E esta é:

$$\frac{pV}{T} = nR \text{ ou } pV = nRT$$

em que R é uma constante de proporcionalidade igual para todos os gases; portanto, é a constante universal dos gases ideais. Para a unidade de medida de pressão em atmosferas (atm), o volume em litros (L) e a temperatura em kelvin (K), o valor de $R = 0{,}082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$, como $1 \text{ atm} = 1{,}013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ e $1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$, a constante R no SI é expressa em relação à unidade de medida de energia (joule) como $R = 8{,}31$ J/mol K.

Lei geral dos gases ideais

Um gás ideal confinado num recipiente pode sofrer variação de pressão, volume e temperatura, mantendo-se sua massa e número de mols. Dessa forma, seu comportamento é descrito pela lei geral dos gases ideias:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow \frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$$

Considerando dois estados distintos desse gás, obtém-se a **lei geral dos gases ideais** que relaciona dois estados quaisquer de uma dada massa de um gás.

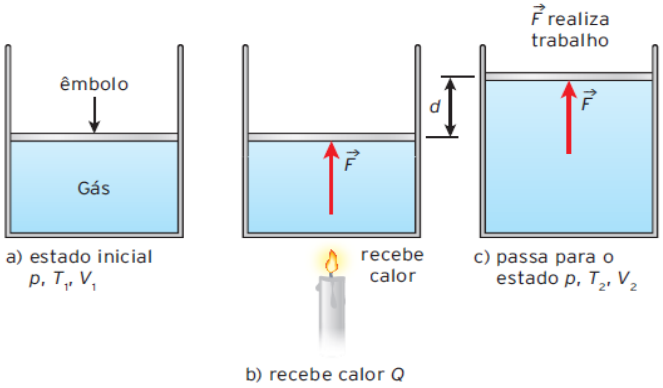
- $\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = n \cdot R$ (estado 1)
- $\frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = n \cdot R$ (estado 2)

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Leis da termodinâmica

A termodinâmica estuda as relações entre calor e trabalho de uma força. O trabalho ocorre em transformações gasosas.

Imagine um cilindro provido de um êmbolo que pode movimentar-se livremente. Para qualquer transformação sofrida pelo gás, a pressão é constante, pois não há variação no peso sobre o êmbolo. Veja a figura:



Uma **expansão** do gás ocorre devido à ação de uma força F sobre o êmbolo realizando trabalho (W). A variação ocorre tanto na temperatura quanto no volume, mas a pressão mantém-se constante. Sendo $\Delta V = V_2 - V_1$, o trabalho realizado pelo gás sobre o meio exterior é: $W = p \cdot \Delta V$.

Na expansão, o gás perde energia para o meio exterior, a variação de seu volume é positiva e, portanto, o trabalho é positivo.

Na situação inversa, de **compressão**, o gás ganha energia do meio exterior, a variação de seu volume é negativa e, portanto, o trabalho é negativo.

$$V_2 > V_1 \Rightarrow \Delta V > 0 \Rightarrow W > 0$$
$$V_2 < V_1 \Rightarrow \Delta V < 0 \Rightarrow W < 0$$

Energia interna e lei de Joule

A energia interna (U) de um gás ideal depende diretamente da variação de temperatura. Dessa forma, temos:

$$\Delta U = \Delta E = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$$

Primeira lei da termodinâmica

A variação da energia interna (ΔU) em um sistema de gás ideal é a diferença entre a quantidade de calor (Q), recebida do meio externo ou a ele fornecida, e o trabalho (W) realizado nesse processo.

$$\Delta U = Q - W$$

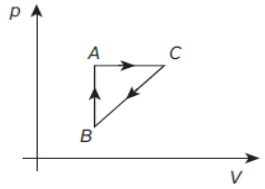
Aplicação da primeira lei às transformações gasosas		
Tipo de transformação	**Característica principal**	**Comportamento do sistema**
Isotérmica	Temperatura constante	$\Delta U = 0$ $Q = W$
Isobárica	Pressão constante	$\Delta U > 0$ $Q > W$
Isovolumétrica	Volume constante	$W = 0$ $\Delta U = 0$
Adiabática	Não há troca de calor entre os meios interno e externo.	$Q = 0$ $\Delta U = -W$
Cíclica	O estado final do sistema é igual ao estado inicial.	$\Delta U = 0$ $W = W_1 + W_2$ $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ $Q = W$

Observações:

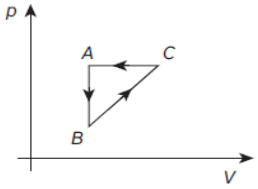
- Na **compressão adiabática**, o sistema recebe trabalho do meio externo, que é integralmente armazenado sob a forma de energia interna. Portanto, o volume diminui, ao passo que a pressão, a energia interna e a temperatura aumentam.
- Na **expansão adiabática**, o sistema realiza trabalho por meio do consumo da energia interna. Portanto, o volume aumenta, ao passo que a pressão, a energia interna e a temperatura diminuem.

Transformação cíclica

Um ciclo, ou **transformação cíclica**, ocorre quando, após um conjunto de transformações, o gás volta a apresentar a mesma pressão, o mesmo volume e a mesma temperatura que tinha no estado inicial, sendo, portanto, nula a variação da energia interna.



- Ciclo é percorrido no sentido horário: $Q \rightarrow W$ no gráfico, ocorre conversão de calor em trabalho.



- Ciclo é percorrido no sentido anti-horário: $W \rightarrow Q$ no gráfico, ocorre conversão de trabalho em calor.

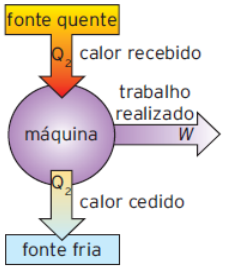
Transformações reversíveis e transformações irreversíveis

Uma **transformação** é **reversível** quando ocorre em ambos os sentidos de modo que o sistema retorne ao estado inicial, passando pelos mesmos estados intermediários, sem que ocorram variações definitivas nos corpos que o rodeiam.

Uma **transformação** é **irreversível** quando o sistema, após alcançar seu estado de equilíbrio, não consegue mais voltar para a sua condição inicial ou por qualquer estado intermediário pelo qual passou sem que um agente externo interfira.

Máquina térmica

As máquinas térmicas foram criadas antes de estabelecerem-se os princípios de seu funcionamento. Uma máquina térmica opera com ciclos contínuos entre as fontes quente e fria. Foi Carnot quem verificou que a diferença de temperatura entre as fontes era de suma importância. Observe o esquema de uma máquina térmica em que Q_1 é o calor retirado da fonte quente, W é o trabalho útil obtido e Q_2 é o calor rejeitado à fonte fria.

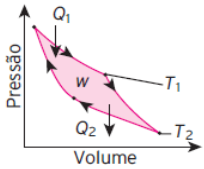


O rendimento (η) de uma máquina térmica é dado por:

$$\eta = \frac{\text{energia útil}}{\text{energia total}} = Q_1 - \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \text{ ou } \eta = \frac{W}{Q_1} \; (0 \leqslant \eta \leqslant 1)$$

Ciclo de Carnot

O ciclo de Carnot é composto por duas transformações adiabáticas, alternadas com duas transformações isotérmicas. Essas transformações são reversíveis, assim como o próprio ciclo. Quando o ciclo é percorrido no sentido horário, o trabalho (W) é positivo e seu valor numérico, no gráfico $p \cdot V$, corresponde à área delimitada pelo ciclo.

Ciclo de Carnot	
Gráfico $p \cdot V$	Descrição das etapas
 Duas isotermas ligadas por duas adiabáticas.	**Transformação 1:** O gás se expande isotermicamente ao receber calor da fonte externa. **Transformação 2:** O gás se expande adiabaticamente, diminuindo a temperatura até T_2. **Transformação 3:** O gás sofre uma compressão isotérmica do meio exterior, continuando com uma temperatura igual a T_2. **Transformação 4:** O gás sofre uma compressão adiabática, que aumenta a temperatura até voltar à temperatura inicial T_1.

Nesse ciclo, as quantidades de calor trocadas com as fontes quente e fria são proporcionais às respectivas temperaturas absolutas das fontes (T_1 e T_2).

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$$

Já o rendimento no ciclo de Carnot é função exclusiva das temperaturas absolutas das fontes quente e fria, não dependendo da natureza do fluido utilizado.

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Esse, portanto, é o máximo rendimento de uma máquina térmica.

Segunda lei da termodinâmica

Nenhuma máquina térmica, que opera em ciclo, pode converter toda a energia térmica (calor) recebida da fonte quente em energia mecânica (trabalho).

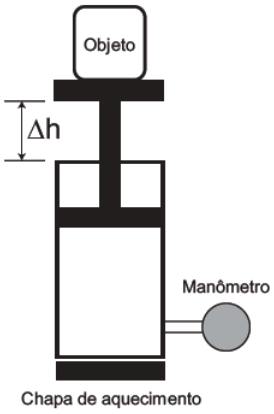
APÊNDICE F – II

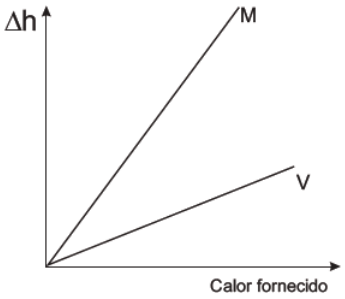
LISTA DE EXERCÍCIOS

ESCOLA: _____

PROFESSOR(A): _____

1. (ENEM - 2014) Um sistema de pistão contendo um gás é mostrado na figura. Sobre a extremidade superior do êmbolo, que pode movimentar-se livremente sem atrito, encontra-se um objeto. Através de uma chapa de aquecimento é possível fornecer calor ao gás e, com auxílio de um manômetro, medir sua pressão.





A partir de diferentes valores de calor fornecido, considerando o sistema como hermético, o objeto elevou-se em valores Δh, como mostrado no gráfico.

Foram estudadas, separadamente, quantidades equimolares de dois diferentes gases, denominados M e V. A diferença no comportamento dos gases no experimento decorre do fato de o gás M, em relação ao V, apresentar

a) maior pressão de vapor.
b) menor massa molecular.
c) maior compressibilidade.
d) menor energia de ativação.
e) menor capacidade calorífica.

Resposta Alternativa (e)

Resolução:

Temos:

ΔV = variação de volume

ΔT = variação de temperatura

C = Q/ΔT = capacidade calorífica

Sabemos que ΔV e ΔT são diretamente proporcionais e ΔT e C são inversamente proporcionais. Pela análise gráfica dado temos que ao receber calor Q, o gás M

sofre maior variação de volume do que o gás V então teremos maior variação de temperatura: $\Delta T_M > \Delta T_V$.

Então nesse caso: $C_M < C_V$

2. (Enem) A adaptação dos integrantes da seleção brasileira de futebol à altitude de La Paz foi muito comentada em 1995, por ocasião de um torneio, como pode ser lido no texto abaixo.

> A seleção brasileira embarca hoje para La Paz, capital da Bolívia, situada a 3700 metros de altitude, onde disputará o torneiro Interamérica. A adaptação deverá ocorrer em um prazo de 10 dias, aproximadamente. O organismo humano, em altitudes elevadas, necessita desse tempo para se adaptar, evitando-se, assim, risco de um colapso circulatório.

Adaptado de revista *Placar*, fevereiro, 1995.

A adaptação da equipe foi necessária principalmente porque a atmosfera de La Paz, quando comparada à das cidades brasileira, apresenta:

a) menor pressão e menor concentração de oxigênio.
b) maior pressão e maior quantidade de oxigênio.
c) maior pressão e maior concentração de gás carbônico.
d) menor pressão e maior temperatura.
e) maior pressão e menor temperatura.

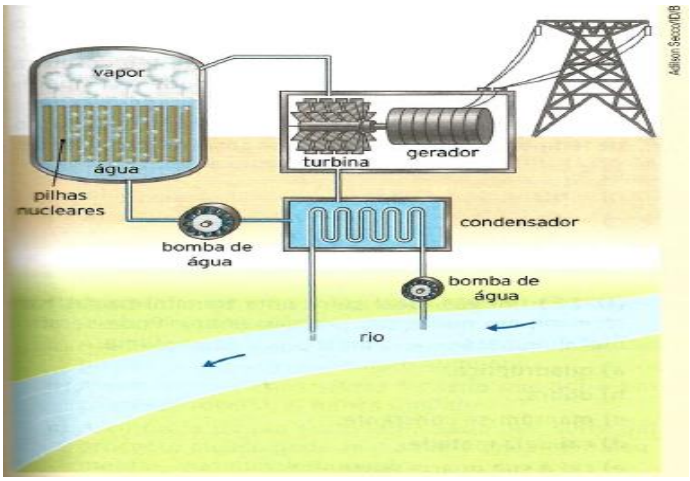
Resposta Alternativa (a).

Resolução:

O aumento de altitude implica na diminuição de massa de ar e, portanto, na diminuição de pressão e concentração de oxigênio.

3. (Enem) A energia térmica liberada em processos de fissão nuclear pode ser utilizada na geração de vapor para produzir energia mecânica que, por sua vez, será convertida em energia elétrica. Abaixo está representado um esquema básico de uma usina de energia nuclear.

A partir do esquema são feitas as seguintes afirmações:



I. a energia liberada na reação é usada para ferver a água que, como vapor a alta pressão, aciona a turbina.

II. a turbina, que adquire uma energia cinética de rotação, é acoplada mecanicamente ao gerador para produção de energia elétrica.

III. a água depois de passar pela turbina é pré-aquecida no condensador e bombeada de volta ao reator.

Dentre as afirmações acima, somente está(ão) correta(s):

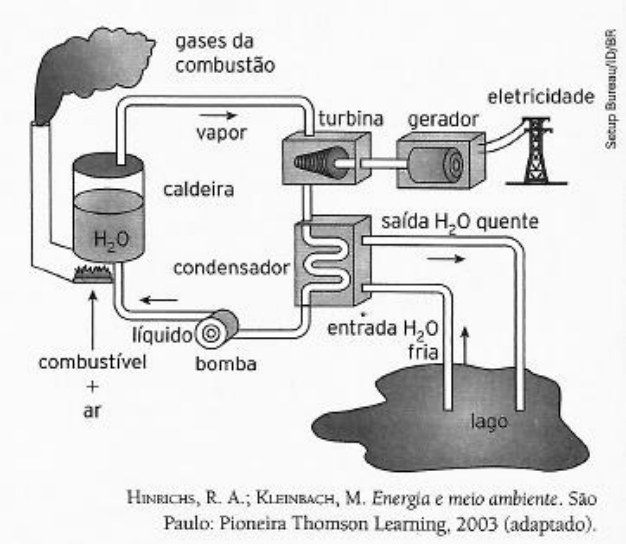
a) I
b) II
c) III
d) I e II
e) II e III

Resposta Alternativa (d).

Resolução

A afirmativa III está incorreta, pois o vapor de água que depois de passar pela turbina, deve ser resfriado ao passar pelo condensador.

4. (Enem) O esquema mostra um diagrama de bloco de uma estação geradora de eletricidade abastecida por combustível fóssil.



HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003 (adaptado).

Se fosse necessário melhorar o rendimento dessa usina, que forneceria eletricidade para abastecer uma cidade, qual das seguintes ações poderia resultar em alguma economia de energia, sem afetar a capacidade de geração da usina?

a) Reduzir a quantidade de combustível fornecido à usina para se queimado.

b) Reduzir o volume da água do lago que circula no condensador de vapor.

c) Reduzir o tamanho da bomba usada para devolver a água líquida à caldeira.

d) Melhorar a capacidade dos dutos com vapor conduzirem calor para o ambiente.

e) Usar o calor liberado com os gases pela chaminé para mover um outro gerador.

Resposta Alternativa (e)

Resolução

A ação sugerida na alternativa (e) melhoria o rendimento da usina sem afetar a sua capacidade de geração.

5. (Enem) A energia geotérmica tem sua origem no núcleo derretido da Terra, onde as temperaturas atingem 4000 °C. Essa energia é primeiramente produzida pela decomposição de materiais radiativos dentro do planeta. Em fontes geotérmicas, a água, aprisionada em um reservatório subterrâneo, é aquecida pelas rochas ao redor e fica submetida a altas pressões, podendo atingir temperaturas de até 370 °C sem entrar em ebulição. Ao ser liberada na superfície, à pressão ambiente, ela se vaporiza e se resfria, formando fontes ou gêiseres. O vapor de poços geotérmicos é separado da água e é utilizado no funcionamento de turbinas para gerar eletricidade. A água quente pode ser utilizada para aquecimento direto ou em usinas de dessalinização.

Hinrichs, R. A. *Energia e meio ambiente.* São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003 (adaptado).

Sob o aspecto da conversão de energia, as usinas geotérmicas:

a) Funcionam com base na conversão de energia potencial gravitacional em energia térmica.

b) Transformam inicialmente a energia solar em energia cinética e, depois, em energia térmica.

c) Podem aproveitar a energia química transformada em térmica no processo de dessalinização.

d) Assemelham-se às usinas nucleares no que diz respeito á conversão de energia térmica em cinética e, depois, em elétrica.

e) Utilizam a mesma fonte primária de energia que as usinas nucleares, sendo, portanto, semelhantes os riscos decorrentes de ambas.

Resposta Alternativa (d).

Resolução

De acordo com o texto, nas usinas geotérmicas, o vapor (energia térmica) é utilizado para o funcionamento de turbinas (energia cinética), gerando assim energia elétrica, assemelhando-se a usinas nucleares.

6. (Uerj) Um professor realizou com seus alunos o seguinte experimento para observar fenômenos térmicos:

- Colocou, inicialmente, uma quantidade de gás ideal em um recipiente adiabático;
- Comprimiu isotermicamente o gás à temperatura de 27 °C, até a pressão de 2,0 atm;
- Liberou, em seguida, a metade do gás do recipiente;
- Verificou, mantendo o volume constante, a nova temperatura de equilíbrio, igual a 7 °C.

Calcule a pressão do gás no recipiente ao final do experimento.

Resolução

Dados:

T_0 = 27 °C = 300 K

T_0 = 7 °C = 280 K

$V = V_0$

$n = \frac{n_0}{2}$

Utilizando a equação de Clapeyron, as variáveis que caracterizam os estados inicial e final são dadas por:

Inicial:

$P_0 \cdot V_0 = n_0 \cdot R \cdot T_0$

$2 \cdot V_0 = n_0 \cdot R \cdot 300$

$V_0 = \frac{300 \cdot n_0 \cdot R}{2}$ (I)

Final:

$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$

$P \cdot V_0 = \frac{n_0}{2} \cdot R \cdot 280$

$P = \frac{280 \cdot \frac{n_0}{2} \cdot R}{V_0}$ (II)

Sendo n o número de mols, substituindo (I) em (II) temos:

$$P = \frac{280 \cdot \frac{n_0}{2} \cdot R}{V_0} \rightarrow P = \frac{280 \cdot \frac{n_0}{2} \cdot R}{\frac{300 \cdot n_0 \cdot R}{2}} \rightarrow P = \frac{280}{300} \rightarrow \boldsymbol{P = 0,93\ atm}$$

7. (PUC-MG) A pressão que um gás exerce, quando mantido em um recipiente fechado, se deve:

a) ao choque entre as moléculas do gás.
b) à força de atração entre as moléculas.
c) ao choque das moléculas contra as paredes do recipiente.
d) à força com que as paredes atraem as moléculas.

Resposta Alternativa (c).

Resolução

O movimento randômico das partículas de um gás faz com que elas colidam com as paredes do recipiente que as contêm exercendo força. Essa força em relação a área das paredes é definida como sendo a pressão que o gás exerce sobre o sistema.

8. (UFV-MG) Uma quantidade fixa de um gás real se comporta cada vez mais como um gás ideal se:

a) aumentarmos a sua pressão e a sua temperatura.
b) diminuirmos a sua pressão e a sua temperatura.
c) aumentarmos a sua pressão e diminuirmos a sua temperatura.
d) diminuirmos a sua pressão e aumentarmos a sua temperatura.

Resposta Alternativa (d).

Resolução

Um gás real tende a se comportar como ideal quando a pressão é baixa e a temperatura é alta, para que a distância entre as moléculas seja a maior possível. Nessas condições, os choques entre as moléculas se tornam praticamente elásticos, havendo pouca perda de energia cinética.

9. (Uece) Dois gases ideais A e B encontram-se em recipientes separados. O gás A possui volume V_A = 10 L e está submetido à pressão P_A = 5 atm. O gás B possui volume V_B = 5 L e está submetido à pressão P_B = 3 atm. As temperaturas

respectivas são T_A = 27 °C e T_B = 177 °C. Os gases são misturados em um mesmo recipiente de volume V = 10 L, a uma temperatura T = 127 °C. A pressão, em atm, que esta mistura exercerá nas paredes do recipiente é:

a) 2 b) 5 c) 8 d) 10

Resposta Alternativa (c).

Resolução

Dados:

V_A = 10 L

V_B = 5 L

P_A = 5 atm

P_B = 3 atm

T = 127 °C

T_B = 177 °C

V = 10 L

T_A = 27 °C

Aplicando a equação de Clapeyron para a mistura, temos:

$$\frac{P.V}{T} = \frac{P_A.V_A}{T_A} + \frac{P_B.V_B}{T_B}$$

$$\frac{P \cdot 10\ L}{400\ °C} = \frac{5\ atm \cdot 10\ L}{300\ °C} + \frac{3\ atm \cdot 5\ L}{450\ °C}$$

$$\frac{P \cdot 10\ L}{400\ °C} = \frac{50\ atm.L}{300\ °C} + \frac{15\ atm.L}{450\ °C}$$

$$\frac{P \cdot 10\ L}{400\ °C} = \frac{150\ atm.L}{900\ °C} + \frac{30\ atm.L}{900\ °C}$$

$$P = \frac{180\ atm.L}{900\ °C} \cdot \frac{400\ °C}{10\ L}$$

$$\boldsymbol{P = 8\ atm}$$

10. (Unesp) Um recipiente contendo um certo gás tem seu volume aumentado graças ao trabalho de 1664 J realizado pelo gás. Neste processo, não houve troca de calor entre o gás, as paredes e o meio exterior. Considerando que o gás seja ideal, a energia de 1 mol desse gás e a sua temperatura obedecem à relação U = 20,8 . T, onde a temperatura T é a medida em Kelvin e a energia U em Joule. Pode-se afirmar que nessa transformação a variação de temperatura de um mol desse gás, em Kelvin, foi de:

a) 50 b) – 60 c) – 80 d) 100 e) 90

Resposta Alternativa (c).

Resolução

Na transformação adiabática temos W = - ΔU, se o gás realizou um trabalho de 1664J, a variação da energia interna será de ΔU = - 1664 J

De acordo com a relação U = 20,8 . T , podemos ter:

$\Delta U = 20{,}8 \,.\, \Delta T \rightarrow -1664 = 20{,}8 \,.\, \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{-1664}{20{,}8} \rightarrow \Delta T = 80\ K$

11. (UFPE) Um gás ideal sofre uma transformação isotérmica, em que sua pressão dobra. Pode-se afirmar que, nessa transformação, o seu volume:

a) quadruplica.
b) dobra.
c) mantém-se constante.
d) cai pela metade.
e) cai à sua quarta parte.

Resposta Alternativa (d)

Resolução

Na transformação isotérmica é valida a relação: $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$ (I)

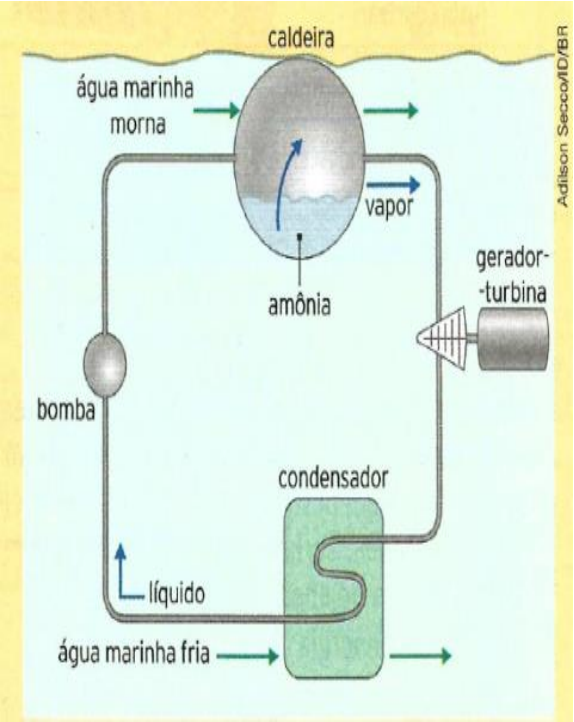
Se a pressão dobrar, temos: $P_2 = 2 \cdot P_1$ (II)

Substituindo (II) em (I), temos:

$P_1 \cdot V_1 = 2 \cdot P_1 \cdot V_2 \rightarrow V_1 = 2 \cdot V_2 \rightarrow \boldsymbol{V_2 = \frac{V_1}{2}}$

Portanto o valor cai pela metade.

12. (UFPA) Uma OTEC (Conversão de Energia Térmica do Oceano), esquematizada a seguir, é uma usina capaz de gerar energia elétrica, de forma não poluente, aproveitando a diferença de temperatura entre as águas superficiais mornas (da ordem de 27°C) e as águas profundas mais frias (da ordem de 4°C) dos oceanos. A OTEC é uma máquina térmica que utiliza vapor de amônia, produzido na caldeira, para movimentar uma turbina acoplada a um gerador, sendo o vapor depois condensado e bombeado para que o ciclo se repita.



Se essa usina pudesse operar no ciclo de Carnot, seu rendimento seria da ordem de:

a) 85 %
b) 65 %
c) 25 %
d) 15 %
e) 8 %

Resposta Alternativa (e)

Resolução

Dados

T_i= 27 °C = 300 K

T_f = 4 °C = 277 K

O rendimento pode ser obtido por:

$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_i}$

$\eta = 1 - \frac{277\ K}{300\ K}$

$\eta = 1 - 0{,}923$

$\eta = 0{,}077 \rightarrow \boldsymbol{\eta = 7{,}7\%}$

Portanto na ordem de 8 %.

13. (Uespi) Com respeito à segunda lei da termodinâmica, assinale a alternativa **incorreta.**

a) A entropia de um sistema fechado que sofre um processo irreversível sempre aumenta.

b) A entropia de um sistema fechado que sofre um processo irreversível nunca diminui.

c) A entropia de um sistema fechado que sofre um processo cíclico pode se manter constante ou aumentar, mas nunca diminuir.

d) A entropia de um sistema aberto que sofre um processo reversível pode diminuir.

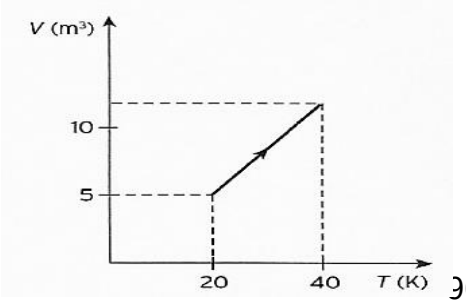
e) A entropia de um sistema aberto que sofre um processo cíclico nunca diminui.

Resposta Alternativa (d)

Resolução

A entropia total de um sistema nunca diminui.

14. (UFRGS-RS) Em uma transformação termodinâmica sofrida por uma amostra de gás ideal, o volume e a temperatura absoluta variam como indica o gráfico ao lado, enquanto a



pressão se mantém igual a 20 N/m^2. Sabendo-se que nessa transformação o gás absorve 250 J de calor, pode-se afirmar que a variação de sua energia interna é de:

a) 100 J b) 150 J c) 250 J d) 350 J e) 400 J

Resposta Alternativa (b).

Resolução

Dados:

P = 20 N/m^2

Q = 250 J

V_i = 5 m^3

V_f = 10 m^3

Em uma transformação isobárica, o trabalho pode ser calculado pela seguinte equação:

$W = P \cdot \Delta V$

$W = 20\ N/m^2 \cdot (10\ m^3 - 5\ m^3)$

$W = 20\ \cdot 5\ N \rightarrow \boldsymbol{W = 100\ J}$

De acordo com a primeira lei da termodinâmica, a variação da energia interna é obtida da diferença entre o calor e o trabalho:

$\Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = 250\ J - 100\ J \rightarrow \boldsymbol{\Delta U = 150\ J}$

15. (Enem) 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 de 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.

Resposta Alternativa (c)

Resolução

De acordo com a segunda lei da termodinâmica: Não é possível construir uma máquina térmica que converta totalmente o calor recebido em trabalho.

16. (Enem) No Brasil, o sistema de transporte depende do uso de combustíveis fósseis e de biomassa, cuja energia é convertida em movimento de veículos. Para esses combustíveis, a transformação de energia química em energia mecânica acontece:

a) Na combustão, que gera gases quentes para mover os pistões no motor.
b) Nos eixos, que transferem torque às rodas e impulsionam o veículo.
c) Na ignição, quando a energia elétrica é convertida em trabalho.
d) Na exaustão, quando gases quentes são expelidos para trás.
e) Na carburação, com a difusão do combustível no ar.

Resposta Alternativa (a)

Resolução

No interior do motor ocorrem reações químicas de combustão, com liberação de calor e luz, os gases provenientes dessas reações possuem elevadas temperaturas e pressões, liberando grandes forças de pressão que movimentam os pistões.

17. (Enem) A refrigeração e o congelamento de alimentos são responsáveis por uma parte significativa do consumo de energia elétrica numa residência típica. Para diminuir as perdas térmicas de uma geladeira, podem ser tomados alguns cuidados operacionais:

I. Distribuir os alimentos nas prateleiras deixando espaços vazios entre elas, para que ocorra a circulação do ar frio para baixo e do quente para cima.
II. Manter as paredes do congelador com camada bem espessa de gelo, para que o aumento da massa de gelo aumente a troca do calor no congelador.

III. Limpar o radiador (“grade” na parte de trás) periodicamente, para que a gordura e a poeira que nele se depositam não reduzam a transferência de calor para o ambiente.

Para uma geladeira tradicional é **correto** indicar apenas:

a) A operação I.
b) A operação II.
c) As operações I e II.
d) As operações I e III.
e) As operações II e III.

Resposta Alternativa (d)

Resolução

I – Verdadeira.

II – Falsa. O gelo que é formado nas paredes do congelador funciona como um material isolante, dificultando as trocas de calor com o ar aquecido pelos alimentos.

III – Verdadeira.

18. (UFV – MG) Um folheto explicativo sobre uma máquina térmica afirma que ela, ao receber 1000 cal de uma fonte quente, realiza 4186 J de trabalho. Sabendo que 1 cal equivale a 4,186 J e com base nos dados fornecidos, pode-se afirmar que esta máquina:

a) Viola a 1ª lei da Termodinâmica.
b) Possui um rendimento nulo.
c) Viola a 2ª lei da Termodinâmica.
d) Possui um rendimento de 10%.
e) Funciona de acordo com o ciclo de Carnot.

Resposta Alternativa (c)

Resolução

Dados

Q = 1000 cal

W = 4186 J

$\eta = ?$

Vamos converter a quantidade de calor de calorias para Joules.

1 cal -------- 4,186 J

1000 cal -------- Q

$Q = \frac{1000\ cal \times 4{,}186\ J}{1\ cal}$

Q = 4186 J.

Agora vamos calcular seu rendimento.	$\eta = \frac{W}{Q}$ $\eta = \frac{4186\ J}{4186\ J}$	$\eta = 1$

Ou seja, rendimento 100%, o que viola o segundo princípio da Termodinâmica, que diz que nenhuma máquina térmica operando em ciclo pode ter um rendimento de 100%.

19. (Enem) A eficiência de um processo de conversão de energia, definida como sendo a razão entre a quantidade de energia ou trabalho útil e a quantidade de energia que entra no processo, é sempre menor que 100% devido a limitações impostas por leis físicas. A tabela ao lado mostra a eficiência global de vários processos de conversão.

Eficiência de alguns sistemas de conversão de energia

Sistema	Eficiência
geradores elétricos	70-99%
motor elétrico	50-95%
fornalha a gás	70-95%
termelétrica a carvão	30-40%
usina nuclear	30-35%
lâmpada fluorescente	20%
lâmpada incandescente	5%
célula solar	5-28%

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. *Energia e meio ambinete*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. Adaptado.

Se essas limitações não existissem, os sistemas mostrados na tabela, que mais se beneficiariam de investimentos em pesquisa para terem suas eficiências aumentadas, seriam aqueles que envolvem as transformações de energia:

a) Mecânica – energia elétrica.
b) Nuclear – energia elétrica.
c) Química – energia elétrica.
d) Química – energia térmica.
e) Radiante – energia elétrica.

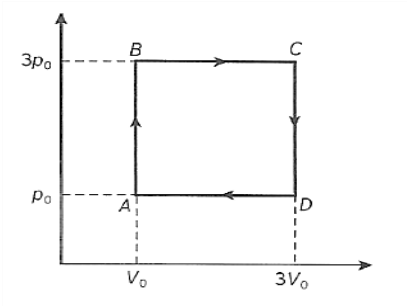
Resposta Alternativa (e)

Resolução

O sistema que mais se beneficiaria é o sistema de células solares, que transforma a energia radiante do Sol em energia elétrica. O aumento nessa eficiência possibilita

energia limpa, segura e renovável, com baixo custo, pois a energia solar é abundante.

20. (Uece) Uma máquina térmica funciona de modo que *n* mols de um gás ideal evoluam segundo o ciclo ABCDA, representado na figura.



Sabendo-se que a quantidade de calor Q, absorvida da fonte quente, em um ciclo, é de $18 \cdot n \cdot R \cdot T_0$, onde T_0 é a temperatura em A, o rendimento dessa máquina é, aproximadamente,

a) 55% b) 44% c) 33% d) 22%

Resposta Alternativa (d)

Resolução

O trabalho realizado pelo gás durante o ciclo pode ser obtido calculando a área da figura interna do gráfico, neste caso um quadrado.

W = $l \times l$

W = $2V_0 \times 2P_0$

W = $4 \cdot V_0 \cdot P_0$

O calor absorvido pelo ciclo é $18 \cdot n \cdot R \cdot T_0$. De acordo com a lei geral dos gases perfeitos, temos:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T_0$$

Então a quantidade de calor Q absorvida será:

Q = $18 \cdot P_0 \cdot V_0$

O rendimento pode ser calculado por:

$$\eta = \frac{W}{Q}$$

$$\eta = \frac{4 \cdot P_0 \cdot V_0}{18 \cdot P_0 \cdot V_0}$$

$$\eta = 0{,}22$$

Logo o rendimento será 22%.

UNIDADE 7

TEMPERATURA, CALOR, TRABALHO, ENERGIA, PRESSÃO, VOLUME, MÁQUINA TÉRMICA, REVERSIBILIDADE, CICLOS E PROCESSOS TERMODINÂMICOS E 1ª E 2ª LEIS TERMODINÂMICAS

- **Duração da Unidade:** 1 aula → aproximadamente 50 min.

- **Objetivos da Unidade:** Aferir os conceitos compreendidos pelos discentes a respeito dos temas: temperatura, calor, trabalho, energia, pressão, volume, máquina térmica reversibilidade, ciclos e processos termodinâmicos e 1ª e 2ª Leis Termodinâmicas.

- **Papel do professor:** Esta é a última unidade e objetiva aferir como os conceitos dos alunos sobre os temas: temperatura, calor, trabalho, energia, pressão, volume, máquina térmica, reversibilidade e as Leis Termodinâmicas estão posterior a conclusão das atividades propostas, verificando se foram aprofundados e/ou desenvolvidos facilitando sua argumentação com desenvoltura sobre o assunto.

Nesta etapa o professor apenas deve solicitar aos alunos que eles respondam o questionário da forma mais "sincera" possível sobre o que eles realmente assimilaram e que tenham cuidado ao escrever e que não utilize nenhuma forma de consulta, nem material didático (livros, internet, etc), e principalmente sem o auxílio dos colegas.

Assim o professor e os alunos organizam a sala de aula em fileiras, entregando um questionário para cada. O questionário de pós-teste segue no apêndice G abaixo.

Observação: esta atividade você poderá atribuir uma nota que servira como média parcial do bimestre, não somente esta atividade, mas também a todas as outras que são apresentadas neste guia.

APÊNDICE G

ESCOLA: _____

PROFESSOR(A):_____

ALUNA(O): _____ SÉRIE/TURMA _____

QUESTIONÁRIO DE PÓS-TESTE

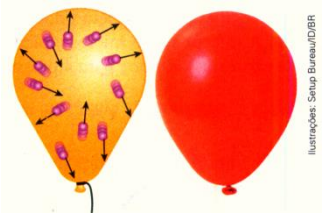
1. Considere o exemplo: quando se coloca uma lata de refrigerante, à temperatura ambiente, em contato com gelo em um recipiente de isopor, a intenção é resfriar a bebida. Em consequência o gelo começa a derreter. Observe a figura ao lado.

Com base no enunciado, e na figura, será que existe diferença entre **calor** e **temperatura?** Se você considerar que há diferenças, explique utilizando suas palavras, e se possível dê exemplos.

2. A cena retratada ao lado é de uma menina puxando um carrinho com um menino e um cachorro. Durante o deslocamento, a menina se cansa, pois transfere energia para o carrinho. A energia transferida pode ser calculada através de uma grandeza física que ela aplica no carrinho para movimentá-lo. Que grandeza física seria essa? Dê exemplos de outras aplicações desta grandeza.

3. A forma de um balão de borracha vazio não se mantém definida. Esse mesmo balão, entretanto, quando cheio de um gás, adquire forma definida.

Microscopicamente, de acordo com o modelo molecular do gás, as moléculas de um gás estão em constante movimento e colidindo entre si e com as paredes de qualquer recipiente que as contenha. São essas colisões que mantém o balão inflado (esquema ao lado). Deste modo, podemos definir pressão como a resultante das inúmeras colisões das partículas com o recipiente. E numericamente temos que a pressão é a força dividida pela área, assim: $P = \frac{F}{A}$.



A partir do enunciado acima, se você fosse cortar uma maçã, qual seria a faca utilizada? Justifique sua resposta.

a) Uma faca com a lâmina afiada em forma de um trapézio →

b) Uma faca com a lâmina afiada em forma de um triângulo →

4. Como podemos definir uma máquina térmica?

5. Observando um motor de uma moto (figura ao lado), como você acredita que este funcione? Explicar o funcionamento é dizer quais transformações termodinâmicas acontecem, em qual ordem, e a importância de cada uma delas no funcionamento da máquina.

6. Considerando que uma cozinha está isolada, para não haver trocas de calor, esta poderia ser resfriada apenas deixando aberta a porta de uma geladeira? Explique.

7. Sabendo que processos **reversíveis** são aqueles nos quais o sistema não retorna espontaneamente à situação inicial. Marque um **X** no(os) fenômeno(s) descrito(s) que são **reversível(is)**?

a. A quebra de uma garrafa vazia;

b. A mistura de um coquetel;

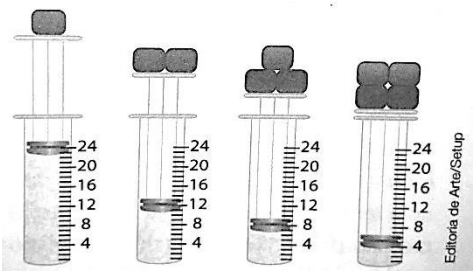
c. O derreter de um cubo de gelo em um copo de refrigerante;

d. A queima de um pedaço de lenha;

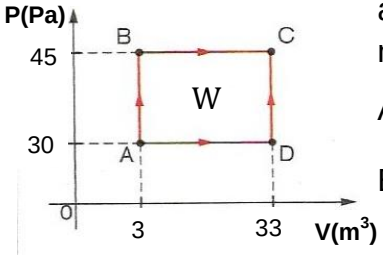
e. A perfuração de um pneu;

f. Acabar a "Sinfonia Inacabada";

8. Observando a imagem das seringas com os blocos de ferro sobre seu êmbolo, escreva a relação entre a **pressão** e o **volume** que está presente.



9. O gráfico P x V mostra o ciclo de uma máquina térmica. Sabe-se que ela absorve 600 J de uma fonte quente a cada ciclo. Pede-se:



a) Escreva os nomes de cada transformação que ocorre nesse processo.

AB → _____ CD → _____

BC → _____ DA → _____

b) Calcule o trabalho realizado em cada ciclo. Lembre-se que o trabalho é dado pela área da figura representada no ciclo.

c) A quantidade de calor rejeitada para a fonte fria.

d) O rendimento dessa máquina.

e) Calcule sua potência sabendo que ela efetua 10 ciclos por segundo.

10. Escreva a o enunciado da 1ª Lei Termodinâmica, se possível dê exemplos.

11. Escreva a o enunciado da 1ª Lei Termodinâmica, se possível dê exemplos.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
PROGRAMA NACIONAL DE MESTRADO EM ENSINO DE FÍSICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

Raysa Zurra Saraiva
&
Igor Tavares Padilha
&
Débora Coimbra

MANUAL DE CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DO MOTOR STIRLING

Material instrucional associado à dissertação de Raysa Zurra Saraiva apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física polo 4.

MANAUS – AM
2016

SUMÁRIO

1 – MATERIAIS 3
2 – FERRAMENTAS USADAS: 4
3 – MEDIDAS 5
4 – CABEÇOTES 6
5 – CILINDRO QUENTE 9
6 – RESERVATÓRIO DE ÁGUA (CILINDRO DE RESFRIAMENTO) 11
7 – PISTÃO DE TRABALHO: 15
8 – PISTÃO DESLOCADOR EM LÃ DE AÇO 23
9 – SUPORTE DO VIRABREQUIM 29
10 – VIRABREQUIM 31
11 – VOLANTE 38
12 – LAMPARINA 40
13 – BASE DO MANÔMETRO 41
14 – DIRECIONADOR DA CHAMA DA LAMPARINA 42

Instruções para fazer o motor Stirling didático com materiais de baixo custo adaptado do Motor Stirling construído por Leandro Wagner.

1 – MATERIAIS

- 5 latas de refrigerante ou cerveja 350 ml, 68 mm de diâmetro (6,8 cm), para o cilindro quente, os dois cabeçotes e o suporte do manômetro;
- 1 lata de cerveja 473 ml, 68 mm de diâmetro (6,8 cm), como suporte do virabrequim;
- 2 latas de pêssego 830 g, com 100 mm de diâmetro (10 cm), para o forninho e o sistema de resfriamento;
- 1 tampa de uma lata spray de cabelo 63 mm de diâmetro (6,3 cm), para o cilindro do pistão de trabalho;
- 1 tampa de spray para secagem de esmalte de unhas ou mesmo de aerossol óleo desengripante de 53 mm ou 57 mm de diâmetro (5,3 cm ou 5,7 cm), para fazer a tampa "externa" do pistão de trabalho;
- 1 tampa de amaciante de 40 mm de diâmetro (4 cm), para fazer a tampa "interna" do pistão de trabalho;
- 1 balão número 10, para o pistão de trabalho;
- 1 câmara de motocicleta ou bicicleta, (descartada em borracharia), cortada em duas tiras uma com 2 cm outra com 1,5 cm, para colocar envolta do cilindro do pistão de trabalho afim de afixar o balão;
- 1 rolinho de lã de aço “Bom Bril”, testei as demais marcas, mas não obtive bom desempenho;
- 3 raios de bicicleta de 2 mm (conhecido por fino) todos em INOX, não recomendo os tradicionais;
- 1 raio de bicicleta de 2,5 mm (conhecido por grosso) em INOX, para biela do pistão de trabalho;
- 2 moedas de 5 centavos, para os mancais (bucha de suporte para o virabrequim);
- 4 CDs para o volante;

- 1 gravadora de CD de computador ou aparelho de DVD estragado, para fazer o volante;
- 6 conectores de fio de luz 6 mm, encontrados em lojas que vendem material elétrico residencial;
- 30 cm de mangueirinha de plástico de 6 mm de diâmetro, para fazer a ligação entre os dois cilindros;
- 15 cm de barra de alumínio para boxe de banheiro, para fazer o apoio de pistão trabalho;
- Graxa;
- 1 caixa pequena de cola durepox;
- 2 bisnagas de cola de silicone de alta temperatura encontrada em lojas de auto peças;
- 1 lata de extrato de tomate com 5 cm de diâmetro e 7 cm de altura.

2 – FERRAMENTAS UTILIZADAS

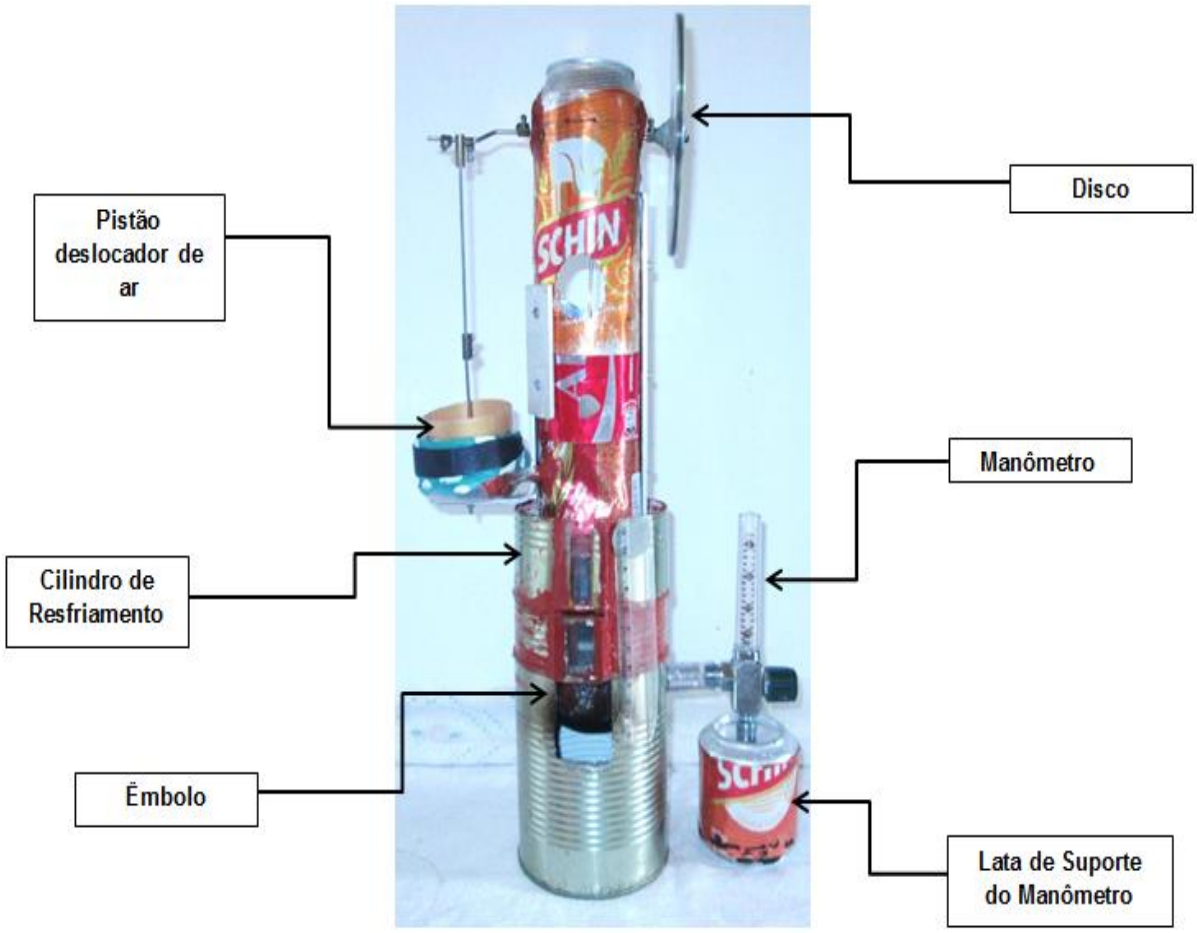
- 1 furadeira;
- 1 broca de 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm e 4 mm;
- 1 serrinha de cortar ferro;
- 1 mini morsa (opcional) servirá para segurar as latas no momento de efetuar os corte;
- 1 chaves de fenda;
- 1 chave Philips;
- 1 alicate de ponta;
- 1 alicate normal;
- 1 martelo;
- 1 régua;
- 1 paquímetro de plástico;
- 1 graxa;
- 1 uma canetinha de marcar DVD;
- 3 pregos médios;
- 1 estilete;
- 1 tesoura;

3 – MEDIDAS

- Curso do pistão deslocador: 38 mm, 980 RPM - com curso reduzido de 36 mm o motor atinge 110 RPM;
- Comprimento do pistão deslocador: 35 mm;
- Curso do pistão de trabalho: 16 mm ou 18 mm;
- O primeiro cabeçote com 60 mm de comprimento e o segundo entre 50 à 60 mm;
- O cilindro quente com 105 mm (10,5 cm) de comprimento;

A partir de agora iremos descrever passo a passo como deverá ser construída cada parte do motor Stirling.

O Motor Stirling montado completo encontra-se na figura 1 abaixo:



4 – CABEÇOTES

Centro da lata: coloca-se uma canetinha de retroprojetor apoiada sobre uma base improvisada (fig.2), em seguida arrasta-se a lata na horizontal, para tracejar o fundo da lata, formando um desenho quadriculado, que será o centro exato da lata, fazendo posteriormente a furação com a broca de 1,5 mm.

Figura 2: Técnica para encontrar o centro da lata

Como cortar a lata: recomendo o uso de um estile, apoiado sobre uma base (Fig. 3) na altura de 60 mm (6 cm), para a primeira lata e 50 mm (5 cm) para a segunda lata. Gire a lata com uma mão e com a outra apoie bem firme o estilete este deverá fazer uma marcação profunda no metal em torno da lata e em seguida pressiona-se com os dedos para fazer a separação das duas partes (Fig.4).

Figura 3: Corte da lata para o cabeçote com o estilete.

Figura 4: Maneira de abrir a lata depois do corte com os dedos.

Medidas dos cabeçotes: a primeira lata de alumínio possui 60 mm de comprimento (6 cm) e a segunda pode variar entre 50 até 60 mm (5 cm até 6 cm) de comprimento (Fig. 5);

Figura 5: imagem dos dois cabeçotes cortados.

Para facilitar o encaixe entre as latas dos cabeçotes você deve pegar uma lata de refrigerante/cerveja e encaixá-la com a parte superior para dentro dos cabeçotes deixando assim por alguns minutos (Fig. 6a) depois você deve invertê-la e encaixar seu fundo mais ou menos 1 cm para dentro da lata do cabeçote (Fig. 6b).

6(a)

6(b)

Figura 6: Encaixe da parte superior da lata no cabeçote (6a) e encaixe da parte inferior (fundo) da lata no cabeçote (6b).

Marcação: com um prego será feito a marcação no centro do cabeçote (Fig. 7a). Evitando que a broca, deslize ao iniciar a furação. O primeiro furo é iniciado com uma broca de 1,5 mm, como pode ser visto na figura 7b.

Figura 7a: Forma de fazer o furo inicial no fundo da lata antes de furar.

Figura 7b: Furação inicial com uma broca de 1,5 mm de diâmetro.

Técnica: force a passagem do raio de 2 mm pelo orifício de 1,5 mm no cabeçote, com auxílio de um martelo (Fig. 8). Inicialmente o furo é justo, sendo necessário movimentar o raio até praticamente estar sem atrito.

Figura 8: Forçando a passagem do raio de 2 mm de diâmetro.

Cuidado no processo: recomendo paciência nessa etapa, para não criar folgas exageradas entre o raio e o furo do cabeçote, gerando possíveis fugas de ar.

Com essa técnica, ocorre à formação de uma micro dobra de alumínio para dentro do cabeçote, sinalizado na (Fig. 9), aumentando a área de contato do raio, evitando o desgaste prematuro da lata de alumínio.

Figura 9: Micro dobra de alumínio.

Não é necessário bucha no cabeçote: este modelo de motor **não** necessita de buchas, porque o cabeçote é em alumínio, onde foi possível reduzir o desgaste prematuro, sem o uso de buchas, porém lubrificado com graxa.

Figura 10: Graxa para lubrificação.

Lubrificação: recomendo graxa (Fig. 10) para a lubrificação do raio (haste) do pistão deslocador de ar. Porque com óleo lubrificante ocorrerá um desgaste prematuro do cabeçote, sujeito ocorrer fugas de ar no orifício do cabeçote e comprometendo o funcionamento

do motor.

Encaixe do cabeçote: o cabeçote é encaixado aproximadamente 10 mm (1 cm) como pode ser visto na figura 11 e o encaixe do cabeçote no cilindro quente deve ser feito com 5 mm (0,5 cm) ;

Figura 11: Cabeçotes encaixados em 1 cm.

5 – CILINDRO QUENTE

Na (Fig. 11a) é possível visualizar o estilete apoiado sobre uma base, para então iniciar o giro manual da lata, efetuando assim o corte. Medida: cilindro quente (Fig. 11b) tem 105 mm de comprimento (10,5 cm) e com 68 mm de diâmetro (6,8 cm);

Figura 12a: Estilete apoiado para cortar a lata para o cilindro quente

Figura 12b: Medida do cilindro quente.

Não recomendo o uso de tesoura no corte das latas de alumínio, porque com o corte ocorrem pequenas irregularidades (Fig. 13), que acarreta o rompimento

do cilindro ao encaixar o cabeçote. Na Fig. 14, um exemplo do cilindro danificado ao tentar encaixar o cabeçote no cilindro.

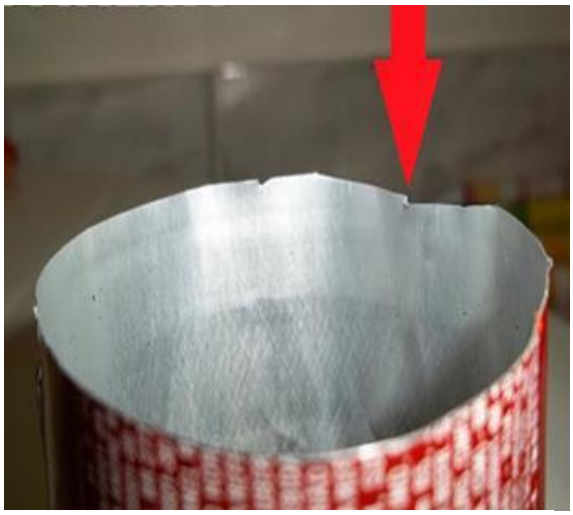


Figura 13: visualização do corte irregular com tesoura.

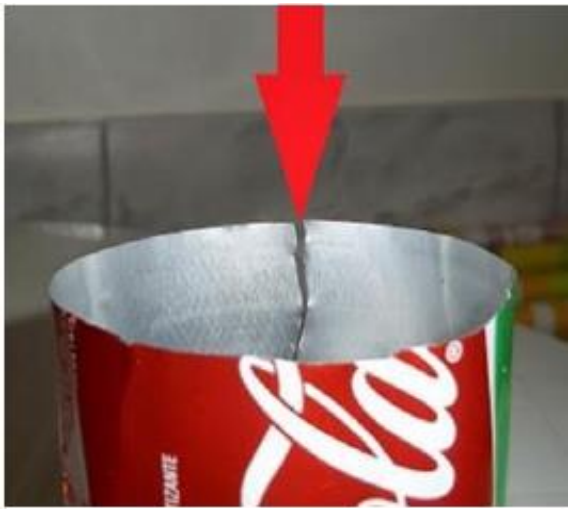
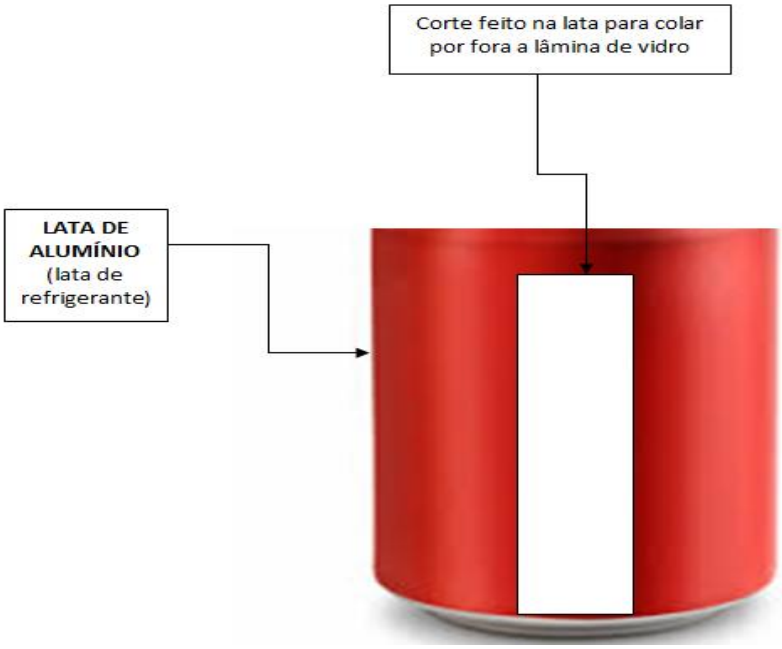


Figura 14: Rompimento do cilindro, ao encaixar o cabeçote.

Depois da lata que será o cilindro quente estiver cortada, você deverá levá-la em uma vidraçaria, juntamente com um tubo de cola de silicone de alta temperatura e mais o reservatório de água, o suporte do cilindro e pedir que o vidraceiro faça um corte em na lateral de cada um deles e cole uma lâmina de vidro comum transparente (vidro de janela, porta, etc...). O modelo do corte do cilindro quente está no esquema abaixo, os outros serão no respectivo passo-a-passo de cada.



Depois de levar ao vidraceiro sua lata deve ficar assim como na figura 15. Você deve ser capaz de ver o pistão deslocador de ar pela venda da lata através do vidro.

Figura 15: Cilindro quente com a lâmina onde
será possível ver o êmbolo se movendo.

6 – RESERVATÓRIO DE ÁGUA (CILINDRO DE RESFRIAMENTO)

Lata do sistema de resfriamento (Fig. 16) tem 45 mm de altura (4,5 cm) medida a partir do fundo da lata e 100 mm de diâmetro (10 cm), é feita com uma lata de frutas em caldas de peso líquido 830 g ou peso drenado 450 g, faça primeiro a marcação na lateral com a caneta de retro projetor e depois corte com a serra de cortar ferro (Fig. 17).

Figura 16: Medidas do Cilindro de resfriamento sem a
lâmina de vidro.

Figura 17: Corte do Cilindro de resfriamento com a serra de cortar ferro.

Depois que a lata do cilindro de resfriamento estiver cortada, você deve pegar a lata do cilindro de aquecimento e colocar no fundo e fazer marcações com a caneta de retroprojetor (Fig. 18).

Figura 18: Marcação do corte que deverá ser feito no fundo do Cilindro de resfriamento.

Depois com um prego grande e um martelo fure o fundo da lata na linha abaixo do contorno do desenho que foi feito anteriormente (Fig. 19), isto é para facilitar o corte que será feito depois com a furadeira e broca de 3 mm (Fig. 20). Ao invés de utilizar a furadeira você poderá retirar o fundo apenas com os furos feitos pelo prego furando um furo próximo ao outro.

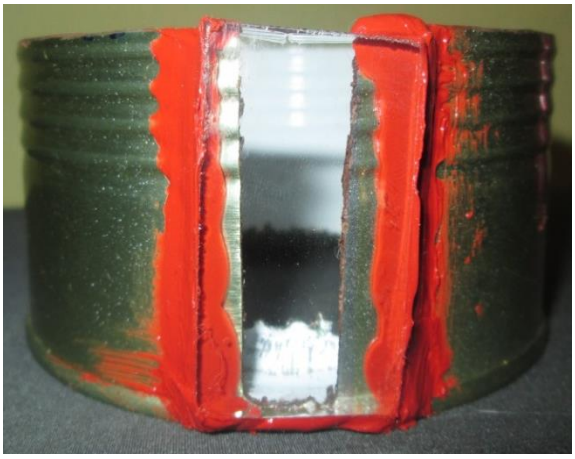
Figura 19: Furo feito com o prego e martelo no fundo do Cilindro de resfriamento.

Figura 20: Abertura feita com a furadeira para retirar o fundo do Cilindro de resfriamento.

Ao término deste procedimento o fundo de sua lata deve ficar como na figura 21, estas rebarbas que sobram podem ser deixadas, pois serão úteis para colar melhor no cilindro quente. Como o cilindro quente possui a lâmina de vidro por fora de sua lateral ao encaixá-lo no cilindro quente deve ser feito uma pequena fresta para que possa passá-lo sem quebrar a lâmina de vidro.

Figura 21: Fundo do Cilindro de resfriamento onde será encaixado o cilindro de aquecimento.

Depois disto, você deverá levá-lo em uma vidraçaria juntamente com um tubo de cola de silicone de alta temperatura, para que seja feito um corte lateral e colada à lâmina de vidro devendo ficar assim (Fig. 22a e 22b). Esta lâmina é de vidro comum (vidro de janela, porta) não sendo necessário o vidro temperado que é mais caro, pois a pressão dentro do motor não é tão grande para quebrá-lo.



22(a) 22(b)

Figura 22: Cilindro de resfriamento com a lâmina de vidro. Vista frontal (22a) e vista superior (22b).

Depois será feito uma tira com o que sobrou da lata de aproximadamente de 30 mm (3 cm) e esta peça também deve ser levada ao vidraceiro para ser colocada a lâmina de vidro devendo ficar conforme a figura 23. O importante em todas estas lâminas de vidro é que estas sejam suficientes para visualizarmos o êmbolo se movendo no cilindro quente. Esta tira é importante para evitar que o cilindro de resfriamento se aqueça.

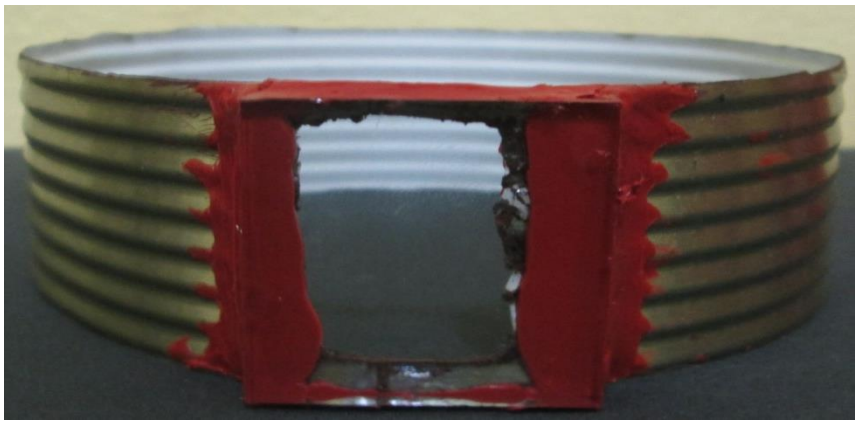
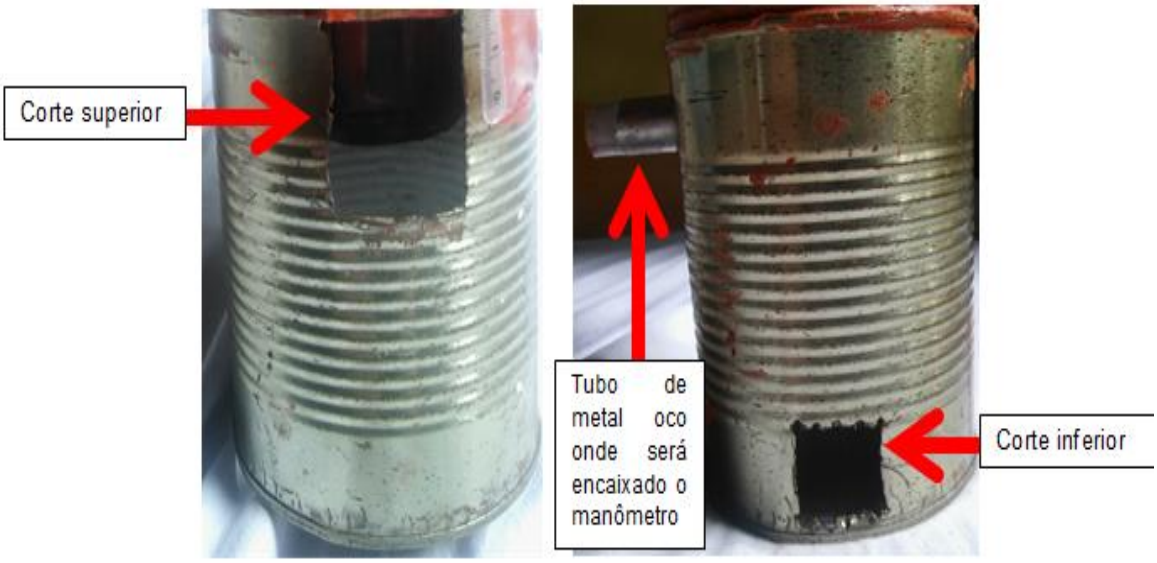


Figura 23: Tira de metal para evitar que o cilindro de resfriamento aqueça já com a lâmina de vidro.

Com outra lata de frutas em caldas de 830 g devemos fazer o mesmo procedimento do furo do fundo da lata do cilindro de resfriamento e depois faremos um corte na lateral superior (Fig. 24a) e um corte inferior na lateral no sentido oposto do outro furo (Fig. 24b). O corte superior na lateral servirá para visualizarmos o êmbolo se movimentando e o corte inferior na lateral oposta servirá para entrar oxigênio onde estará colocada a lamparina evitando que esta apague. Devemos

fazer também um furo por onde deve passar sem folga um tubo de metal oco que será necessário para encaixar o manômetro.



24(a) 24(b)

Figura 24: Suporte do motor Stirling com os furos superior frontal (24a) e inferior (24b).

7 – PISTÃO DE TRABALHO:

Para confeccionarmos o pistão de trabalho precisaremos de três tampas, uma com 40 mm (tampa de garrafa de iogurte) – **tampa interna do pistão de trabalho**, outra com 53 mm (tampa de spray secante para unhas) – **tampa externa do pistão de trabalho** e outra com 63 mm (tampa de tinta spray) – **cilindro do pistão de trabalho** podemos visualizá-las na figura 25, você poderá usar um paquímetro para fazer as medições.

Figura 25: Tampas necessárias para o pistão de trabalho.

Além destas tampas precisaremos de um balão número 10, de um raio de bicicleta de 10 cm com seu encaixe (parafuso do raio), talco de bebê para passar no balão para aumentar sua durabilidade, uma tira circular de câmera de pneu do tamanho de uma moeda de 5 centavos com um furo pequeno no meio (Fig. 26).

Figura 26: Raio da bicicleta e tira da câmera do pneu.

O balão deverá ser inflado de tamanho médio e cortado na altura abaixo de seu gargalo (Fig. 27).

Figura 27: Forma do corte do balão.

Para montar o pistão de trabalho vamos encaixar a tampa de 53 mm já recortada na altura da tampa de iogurte no raio da bicicleta com a ponta rosqueada para cima (Fig. 28a) e depois encaixaremos o balão, a tampa de iogurte de 40 mm e por fim para fixar enrosque tudo com a porca do parafuso do raio da bicicleta (Fig. 28b). Vire o balão de modo que a tampa de iogurte fique para dentro e o raio e a tampa de 53 mm fiquem para fora e passe talco de bebê no balão por dentro e por fora (Fig. 29).

28(a) 28(b)

Figura 28: Forma de montagem do pistão de trabalho.

Figura 29: Forma do pistão de trabalho depois de ser virado.

Agora construiremos o cilindro onde será encaixado o pistão de trabalho. Para isto necessitaremos de uma tampa de spray de tinta de 63 mm de diâmetro (6,3 cm) e 30 mm de altura (3 cm), duas mangueiras de plástico com 6 mm de diâmetro (0,6 cm), de ligação para os dois cilindros para a vedação do pistão: duas borrachas de câmara de bicicleta cortadas para afixação do balão no cilindro, onde a borracha interna é de 15 mm (1,5 cm) de largura e a borracha externa com 20 mm (2 cm) de largura, visualizado na Fig. 30. Também não é necessário cola para a vedação do balão sobre o cilindro. Necessitaremos também de uma barra de alumínio com aproximadamente 3,2 mm de espessura e 30 cm de comprimento.

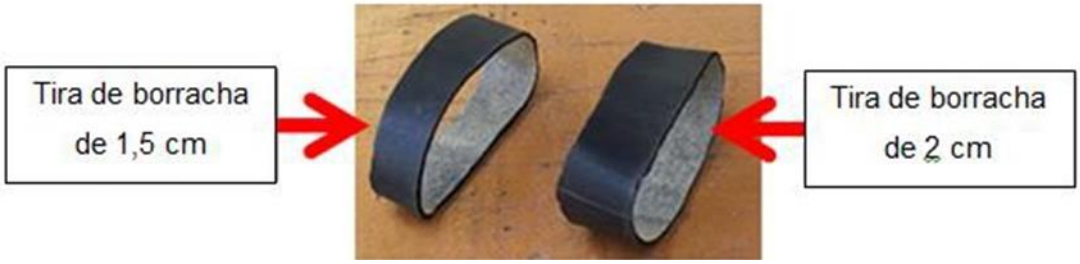


Figura 30: Tiras de câmara de pneu de bicicleta.

Iniciaremos fazendo as marcações na barra de alumínio, a primeira deve ser feita a 5,5 cm da extremidade, a segunda deve ser feita com 12,7 cm da extremidade (Fig. 31). Depois das marcações feitas, corte na marca de 12,7 cm e dobre na marca de 5,5 cm, ficando como na figura 32.

Figura 31: Medidas das marcações na régua.

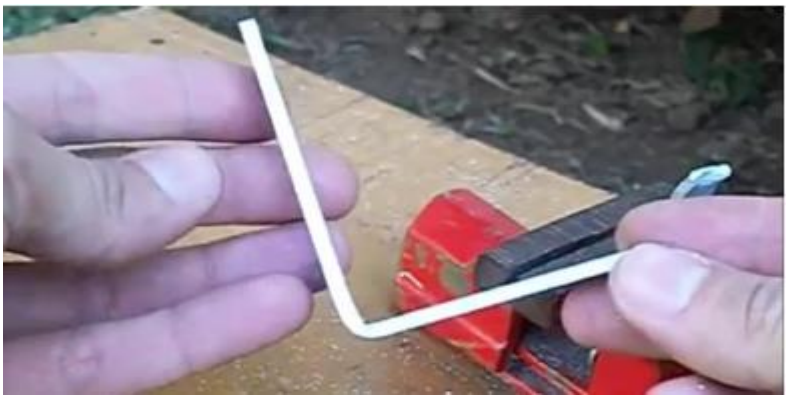
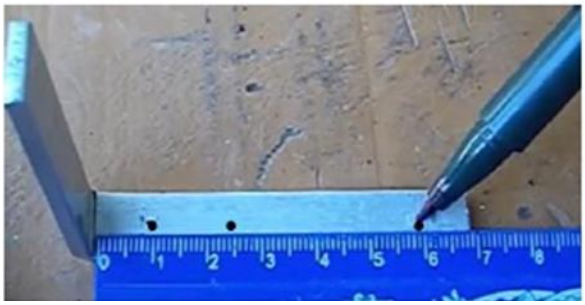


Figura 32: Forma da barra de alumínio dobrada.

Depois faça três marcações na parte maior da barra. A primeira com 1 cm, a segunda com 2,5 e a terceira com 6 cm e fure-as com a furadeira e broca de 3 mm, (Fig. 33a e 33b).



33(a) 33(b)

Figura 33: Marcações na barra de alumínio (33a) e furos feitos com a broca de 3 mm (33b).

Depois de feito os furos, aproxime a barra de alumínio do cabeçote a 1,5 cm de altura (Fig. 34a) e faça as marcações dos furos com uma canetinha (Fig. 34b) e depois fure com a broca de 3 mm e encaixe a barra de alumínio com parafusos e porcas pequenos (Fig. 35a e 35b).

34(a) 34(b)

Figura 34: Altura da barra de alumínio em relação ao cabeçote (34a) e marcações na barra de alumínio para fazer os furos com a broca de 3 mm (34b).

35(a) 35(b)

Figura 35: encaixe dos parafusos no cabeçote, fora (35a) e dentro (35b) da lata.

Depois de encaixar a barra de alumínio com os parafusos pequenos, faça dois furos no fundo desta lata no sentido oposto o da barra de alumínio (Fig. 36). Primeiro com a broca de 3 mm e depois para aumentar o tamanho com a broca de 7 mm.

Figura 36: Localização dos furos no fundo do cabeçote.

Pegue a tampa de 63 mm de diâmetro que foi cortada com 3 cm de altura e faça um furo com a broca de 2 mm bem no centro dela (Fig.37a), é fácil localizarmos o centro devido a maioria dessas tampas já possuir um ponto neste local. Depois

com o furo já feito encaixe esta tampa na outra parte da barra de alumínio que já está presa no cabeçote, faça uma marcação com uma canetinha de marcar CD e fure também com a broca de 2 mm para fixar um parafuso (Fig. 37b). Cuidado para a tampa não se partir durante este perfuração, se o partido for pequeno cole com a cola de silicone de alta temperatura, mas verifique se ficou bem colado evitando que esteja fugindo ar. O ideal é que se troque a tampa por outra nestes casos.

37(a)

37(b)

Figura 37: Furo no fundo da tampa (37a). Encaixe da tampa no cabeçote (37b).

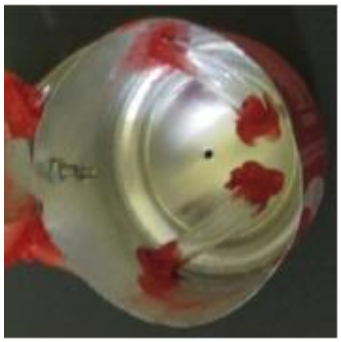
Depois de encaixada a tampa de 63 mm ou 57 mm, faça marcações nas laterais dela na distância de 2 cm da lata (cabeçote) como mostra na Fig. 38. E depois faça um furo em cada lado do tamanho suficiente para passar a mangueira de 6 mm com pouca folga. Passe a mangueira dentro dos furos do pistão e faça uma marcação com a caneta na lateral do cabeçote (Fig. 39) do tamanho suficiente para passar bem justa a mangueira, sem deformá-la.

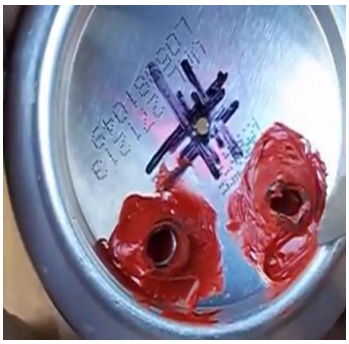
Figura 38: Marcação na lateral da tampa.

Figura 39: Marcação do cabeçote, para passar a mangueira.

Passe a mangueira começando pelos furos dentro do pistão (tampa) e depois pela lateral da lata fazendo-a atravessar a lata do cabeçote até chegar o

fundo da lata. Um pedaço de mangueira para cada lado. Corte as sobras da mangueira de forma que ela fique bem na rente aos furos passando apenas alguns centímetros. Depois cole a mangueira na lata e na tampa por dentro e por fora com a cola de silicone de alta temperatura (Fig. 40a, 40b e 40c).





40(a) 40(b) 40(c)

Figura 40: Forma lateral da mangueira (40a). Vista superior da mangueira dentro do cabeçote (40b). Vista inferior da mangueira no fundo do cabeçote (40c).

Depois de esperar secar a cola pegue a tira de borracha de câmara de bicicleta ou moto de 2 cm e encaixe na lateral de fora do cilindro de trabalho (Fig. 41). Se esta tampa que é o cilindro de trabalho possuir um furo encaixe algum parafuso neste orifício ou passe a cola de silicone de alta temperatura (Fig. 42).

Figura 41: Encaixando a tira de borracha lateral externa da tampa.

Figura 42: Colocando o parafuso no fundo da tampa do cilindro.

Agora pegue o pistão de trabalho feito com o balão e encaixe o balão por cima do cilindro de trabalho (Fig. 43a e 43b), puxe o balão para a tampa de cima ficar bem centralizada.

43(a)

43(b)

Figura 43: Encaixe do pistão (43a). Alinhando o pistão na tampa do cilindro (43b).

Depois de encaixado e bem centralizado o pistão (Fig. 44a), coloque a tira de câmara de pneu de bicicleta de 1,5 cm por fora (Fig. 44b e 44c) para prendê-lo. Não é necessário cola, pois a tira de borracha prenderá bem. O curso total do pistão de trabalho é 16 mm (1,6 cm);

44(a)

44(b)

44(c)

Figura 44: Centralizando o pistão (44a). Encaixando a tira de borracha (44b).
Vista da tira de borracha encaixada (44c).

Depois de terminado o pistão de trabalho, pegue a outra lata referente ao cabeçote e encaixe-a com aproximadamente 1 cm (Fig. 45) e parafuse-a também na barra de alumínio.

Figura 45: Encaixe dos cabeçotes.

Depois de parafusar o outro cabeçote, faça o teste para verificar se o pistão de ar está sem fugas de ar. Para isso tampe a saída das mangueiras no fundo da lata do cabeçote (Fig. 46) e puxe a ponta do pistão (Fig. 46), se você não conseguir puxá-lo ou se conseguir fazendo bastante força significa que ele está bem vedado.

Figura 46: Colocando os dedos nas extremidades da mangueira no fundo da lata.

Figura 47: Puxando o pistão para verificar se não há fugas de ar.

8 – PISTÃO DESLOCADOR EM LÃ DE AÇO

Lembro que este pistão deve ser praticamente transparente, para facilitar o deslocamento do ar pelo interior do pistão, que absorver parte do calor e reaquece o ar frio, ao retornar para a câmara quente.

Observação: procure projetar o motor, para que o pistão tenha pouco atrito no interior do cilindro, evitando o arrasto no movimento e reduzindo consumo energia mecânica produzida pelo motor.

Primeira imagem do pistão deslocador em lã de aço montado:

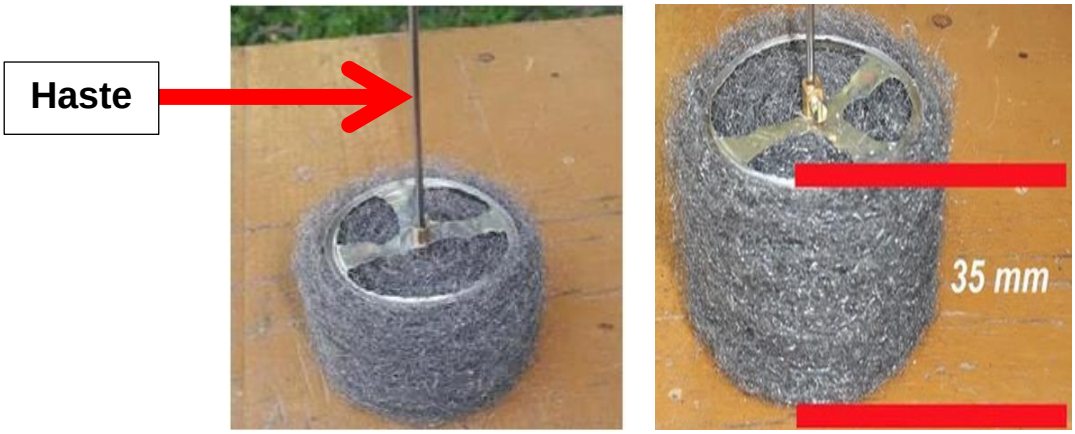


Figura 48: Imagem do pistão deslocador de ar pronto.

Haste do pistão deslocador: é recomendado um raio de bicicleta em INOX e 2 mm de diâmetro (Fig. 48) para a montagem do pistão, porque este tipo de raio é liso e rígido em relação aos demais raios de bicicleta, evitando um desgaste prematuro do cabeçote. Comprimento da haste: o comprimento do raio é definido

antes do fechamento do motor, obtendo somente o comprimento necessário. Para isso, deve ser previamente montado todo o motor e depois cortar o raio no comprimento necessário.

Para construção do pistão deslocador de ar em lã de aço, use duas tampas de latas de refrigerante/cerveja e afixe com conector de fio de luz a tampa superior. Na (Fig. 49) a tampa usada nas duas extremidades da construção do pistão deslocador. Depois faça o desenho de como será o suporte do (êmbolo) como na Fig. 50.

Figura 49: Tampa de lata de refrigerante.

Figura 50: Desenho da tampa de lata de refrigerante.

Depois de desenhado o formato na tampa da lata corte sua lateral até o onde a lata possui uma curva conforme a figura 51 e retire estas partes e as sobras com as mãos tendo cuidado para não se cortar figura 52a e 52b.

Figura 51: corte na lateral da lata de refrigerante.

52a

52b

Figura 52: Retirando a tampa da lateral da lata de refrigerante com os dedos.

Depois de retirar a tampa pegue um prego e faça dois furos (Fig. 53) por onde será possível passa a ponta do alicate de ponta. Retire todas as rebarbas até ficar somente o desenho (Fig. 54a e 54b).

Figura 53: Furo com um prego na tampa da lata de refrigerante.

54a 54b

Figura 54: Recorte na tampa da lata de refrigerante.

Assim que terminar de recortar sua tampa deve fica como na Fig. 55, você de fazer mais uma tampa do mesmo jeito. Uma servirá para cima e a outra servirá para a parte de baixo do êmbolo. Depois faça um furo com um pequeno prego no meio da tampa (Fig. 56) por onde passará o raio de bicicleta de 2 mm. Se sua tampa ficou um pouco grossa a lateral você deverá cortá-la como nas Figuras 57a e 57b.

Figura 55: Forma final da tampa da lata de refrigerante.

Figura 56: Furo no centro da tampa da lata de refrigerante.

57a 57b

Figura 57: Corte para afinar a tampa da lata de refrigerante (57a). Espessura da tampa depois de cortada (57b).

Agora vamos prender estas partes no raio de bicicleta de 2 mm. Uma das tampas servirá para o fundo do pistão deslocador de ar, para esse prenda-o com um parafuso para raio de bicicleta (Fig. 58). Para isso primeiro corte o parafuso para raio de bicicleta (Fig. 59), encaixe uma das tampas de refrigerante e prenda-a com este parafuso, aperte-a com uma chave de fenda (Fig. 60), no final ela ficará como mostrado na figura (Fig. 61).

Figura 58: Parafuso para raio de bicicleta.

Figura 59: Corte do parafuso para raio de bicicleta.

Figura 60: Encaixe da tampa de lata com o parafuso para raio de bicicleta.

Figura 61: Fundo do pistão deslocador de ar.

Agora vamos fazer a parte superior do pistão. Primeiro precisaremos do conector do fio de luz de 6 mm, retiramos da embalagem plástica (Fig. 62) e seraremos ao meio entre os dois parafusos. (Fig. 63).

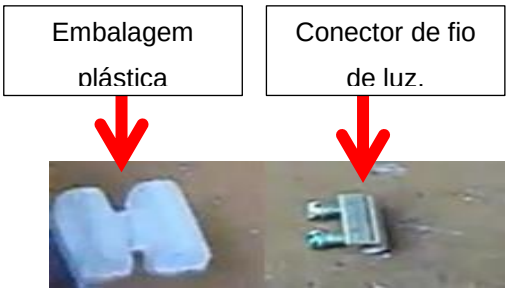


Figura 62: Embalagem e conector de fio de luz.

Figura 63: Forma de cortar o conector de fio de luz.

Depois de cortar o conector do fio de luz, pegue uma das partes e encaixe no raio de bicicleta que já tinha a parte inferior do pistão deslocador de ar com aproximadamente 3,5 cm (Fig. 64), aperte o parafuso do conector e depois encaixe a outra tampa e outro conector por cima (Fig. 65), aperte com um chave de fenda (Fig. 66) e no final ele estará assim como na Fig. 67.

Figura 64: Medida do pistão deslocador de ar.

Figura 65: Modo de encaixe das tampas de suporte.

Figura 66: Apertando o conector de fio de luz.

Figura 67: Forma do cilindro deslocador de ar.

Agora faremos o revestimento do pistão deslocador de ar. Primeiro pegue uma palha de aço e desenrole (Fig. 68), depois de desenrolada abra suas pontas para formar um tecido de lã de aço (Fig. 69).

Figura 68: Desenrolando a palha de aço.

Figura 69: Abrindo a palha de aço.

Depois do tecido de lã pronto pegue o suporte do pistão e meça seu tamanho (Fig. 70) e rasgue de uma extremidade a outra formando uma tira de lã de aço. Não recomendo que seja cortado para não ficar partes pontiagudas. Depois com essa tira comece a enrolar dentro do suporte (Fig. 71), vá enrolando deixando-a extremamente fofa, até atingir o diâmetro do cilindro de aquecimento (68 mm) e praticamente transparente, como visto na (Fig. 72a e 72b). Para verificar a transparência coloque o pistão já revestido contra uma fonte de luz e se for possível enxerga-la ele estará bom.

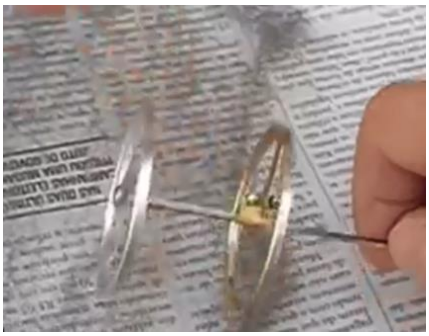


Figura 70: Medindo a lã de aço para retirar uma tira.

Figura 71: Enrolando a lã de aço para fazer o êmbolo do pistão.

72 (a)

72 (b)

Figura 72: Verificando a transparência do pistão deslocador de ar.

Teste: ao inserir o pistão dentro do cilindro de aquecimento, o peso do pistão (16 gramas) deve ser suficiente para mover-se com a força da gravidade até fundo do cilindro de aquecimento, sem a necessidade da intervenção de uma força externa. Isso representa pouco atrito do pistão deslocador com o cilindro quente. O mesmo deve ocorrer ao puxar o pistão para fora do cilindro, onde o peso do pistão deve ser suficiente para que permaneça no chão, sem a necessidade de segurar a

lata. Porém a lã deve encostar levemente no cilindro, de forma justa, mas com pouco atrito.

Vantagem da lã de aço: ela regenera o ar, ou seja, quando o ar quente desloca-se para a câmara fria, parte do calor é absorvido pela lã e ao retornar para a câmara quente, o ar é pré-aquecido antes mesmo entrar na câmara quente, atingindo temperaturas superiores ao pistão deslocador convencional.

Marca recomenda: fiz testes com as demais marcas de lã de aço, porém a Bom Bril leva vantagem pela malha de fios finos, boa qualidade e não é cortada, somente enrolada.

9 – SUPORTE DO VIRABREQUIM

Suporte: a lata de suporte do virabrequim tem 155 mm (15,5 mm) de comprimento, sendo a localização do centro do furo para afixação do virabrequim, em 30 mm (3 cm) medidos de cima para baixo (Fig. 73). Para encontrar a medida exata do meio onde devem ser feitos os furos enrole uma tira de papel na circunferência da lata e meça o comprimento dessa tira e marque onde encontra-se a metade, depois coloque-a sobre a lata e marque onde devem ser feitos os furos (Fig. 74). Faça um furo em cada extremidade com a broca de 2 mm.

Figura 73: Altura dos furos.

Figura 74: Tira de papel para marcar a posição dos furos.

Vamos retirar as tampas inferior (fundo) e superior da lata, para isso lixe-as em uma pedra ou com um esmeril até elas abrirem uma pequena fresta e depois com o dedo pressione se for o fundo (Fig. 75) ou puxe (Fig. 76) se for a tampa superior para se desencaixarem.

Figura 75: Forma de retirar o fundo da lata

Figura 76: Forma de retirar a tampa da lata

Depois onde tem o brasão com a marca da cerveja recorte em seu contorno com um estilete (Fig. 77). Depois na parte oposta da lata marque um círculo com uma tampa de garrafa pet e recorte-o também (Fig. 78).

Figura 77: Retirando o brasão da lata.

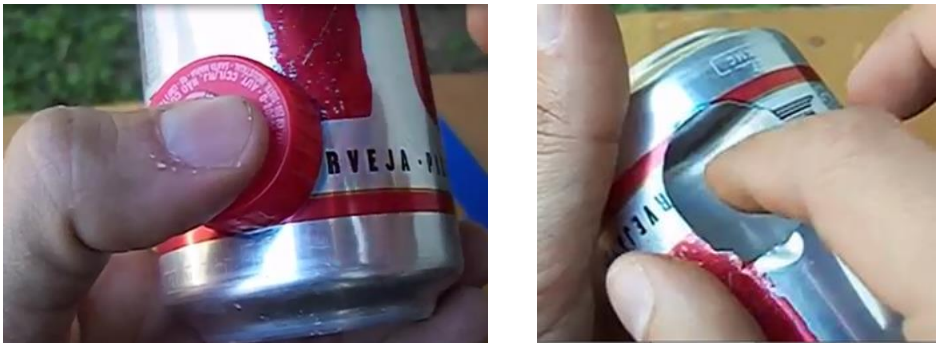


Figura 78: Fazendo o orifício na parte oposta ao brasão.

10 – VIRABREQUIM

Para fazer o virabrequim precisaremos de um raio de bicicleta. Iniciaremos fazendo marcações nele com uma caneta para retroprojetor. A primeira marcação é a 4 cm, a segunda a 5,8 cm, a terceira à 8 cm e a quarta em 9,8 cm (Fig. 79).

Figura 79: Marcações na régua.

Depois das marcações feitas agora iremos dobrar o raio de bicicleta, primeiro dobramos na primeira marcação a 4 cm, para isso colocaremos o alicate (Fig. 80) sobre a marcação e com as mãos faremos uma dobra formando um “L” (Fig. 81).

Figura 80: Modo de fazer a 1ª dobra com alicate.

Figura 81: Formato do raio após a primeira dobra.

Depois da primeira dobra feita iremos partir para a segunda que deve ser feita na segunda marcação para formar um ângulo de 90° com a primeira dobra. (Fig. 82)

Figura 82: Formato do raio após a segunda dobra.

Depois da segunda dobra faremos a terceira, fazendo novamente um ângulo de 90º com a dobra anterior ficando como na figura 83.

Figura 83: Formato do raio após a terceira dobra.

Agora iremos dobrar na quarta marcação formando uma espécie de quadrado, como podemos observar na Fig. 84.

Figura 84: Formato do raio após a quarta dobra.

Depois destas dobras prontas faremos o teste para verificar se está alinhado. Para isso escolha uma superfície plana e lisa e coloque em pé o raio já dobrado (Fig. 85) e depois coloque-o deitado (Fig. 86), se em nenhum dos casos houverem desníveis significa que ele está alinhado.

Figura 85: Teste em pé do alinhamento do raio.

Figura 86: Teste deitado do alinhamento do raio.

Depois de todas as quatro dobras feitas seu virabrequim deve ter esta forma (Fig. 87):

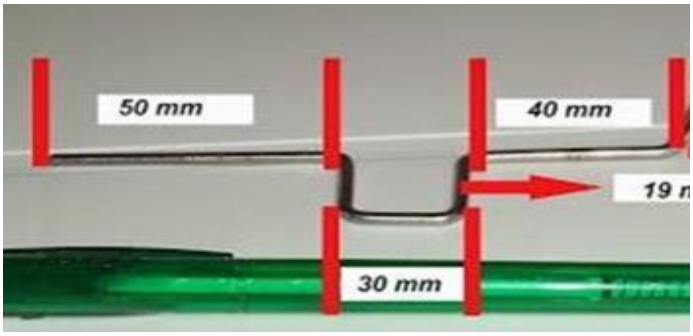


Figura 87: Virabrequim pronto.

Após a conclusão da dobra para o pistão deslocador, é introduzido o conector de fio de luz no virabrequim, que será usado na fixação da biela do pistão deslocador (Fig. 88).

Figura 88: Virabrequim com o conector de fio de luz sendo encaixado no suporte do volante.

Primeiro o virabrequim é encaixado na lata de suporte (Fig. 89) pela parte curta, ou seja, o lado que será fixado o volante. Verifique se existe pouco atrito entre o virabrequim e a lata, gire o virabrequim e espere até ele parar, se antes de parar ele ficar balançando significa que está bom;

Figura 89: Virabrequim encaixado na lata de suporte.

Em seguida, são instaladas as moedas já com os furos da broca de 1,5 mm com cola de silicone, servindo buchas para o virabrequim;

Figura 90: Virabrequim com o conector de fio de luz sendo encaixado no suporte do volante.

Depois pegue o pistão deslocador de ar encaixe-o dentro de da lata que será o cilindro quente já encaixado nas latas que serão o cabeçote, meça esse tamanho (Fig. 91) e corte o raio que forma o pistão com aproximadamente 1 cm (Fig. 92), lembre-se de deixar um espaço para o pistão não tocar no fundo da lata do cilindro quente.

Figura 91: Encaixe do pistão deslocador de ar.

Figura 92: Medida de corte do pistão deslocador de ar.

Agora pegue um conector de fio de luz e faça um furo em sua lateral com a broca de 3 mm (Fig. 93), depois encaixe-o no pistão deslocador de ar e parafuse-o (Fig. 94).

Figura 93: Furo de 3 mm na lateral do conector de fio de luz.

Figura 94: Encaixe do conector de fio de luz no raio do pistão.

Pegue um pedaço de raio de bicicleta e dobre-o como na Fig. 95. Depois encaixe-o no furo da lateral do conector de fio de luz que está fixado no raio do pistão deslocador de ar (Fig. 96), depois peque um conector de fio de luz partido em dois e encaixe-o na ponta do raio para prender o pistão no raio que o ligará ao virabrequim (Fig. 97).

Figura 95: Forma do raio de bicicleta que ligará o pistão ao virabrequim.

Figura 96: Encaixe do pistão ao virabrequim.

Figura 97: Fixação do pistão ao virabrequim com o conector de fio de luz.

Com a outra ponta pegue do raio corte-o de modo a encaixá-lo no conector de fio de luz que já está preso no virabrequim (Fig. 98), não se esqueça de encaixá-lo para que fiquem alinhados (Fig. 99).

Figura 98: Fixação do raio ao virabrequim com o conector de fio de luz.

Figura 99: Alinhamento entre o virabrequim e o pistão.

Posteriormente com dois alicates, faça a dobra para encaixar o pistão de trabalho, com a medida necessária. Coloque o alicate encostado na lata de suporte e dobre formando um “L” (Fig. 100), depois coloque o alicate e faça outra dobra em formato de “L” para a esquerda. (Fig. 101), depois de todas as dobras feitas a ponta do virabrequim deve ficar como na Fig. 93.

Figura 100: Primeira dobra do virabrequim.

Figura 101: Segunda dobra do virabrequim.

Figura 102: Forma final do virabrequim.

Depois encaixe um conector de fio de luz partido ao meio (Fig. 103) e pegue outro e faça um furo no sentindo oposto (Fig. 104).

Figura 103: Encaixe do conector do fio de luz na lateral do virabrequim.

Figura 104: Furo na lateral do conector do fio de luz.

Encaixe o conector pelo furo lateral no virabrequim (Fig. 105) e coloque outro conector de fio de luz cortado ao meio para fixá-lo. (Fig. 106).

Figura 105: Encaixe do conector do fio de luz na lateral do virabrequim.

Figura 106: Encaixe final do conector do fio de luz no virabrequim.

Agora você deverá encaixar um conector de fio de luz na base do pistão e aperte-o com uma chave de fenda (Fig. 107), depois pressione o pistão (Fig. 108) para ficar com o balão para baixo e meça o tamanho do raio para encaixar no virabrequim. Corte-o como na Fig. 109 e parafuse-o (Fig. 110).

Figura 107: Encaixe do conector do fio de luz no pistão de trabalho.

Figura 108: Alinhamento do conector do fio de luz no pistão de trabalho.

Figura 109: Corte do raio do pistão de trabalho na altura do virabrequim.

Figura 110: Encaixe do conector do fio de luz no raio do pistão de trabalho.

11 – VOLANTE

Agora iremos confeccionar o volante do motor Stirling, para isso precisaremos de 1 suporte para guardar CD/DVD, 4 CD/DVD, cola de silicone de alta temperatura e um gravador de DVD.

Pegue um CD/DVD e passe cola de silicone e coloque no suporte com a cola para cima, repita o procedimento nos outro três CDs/DVDs colando entre eles com a cola de silicone (Fig. 111).

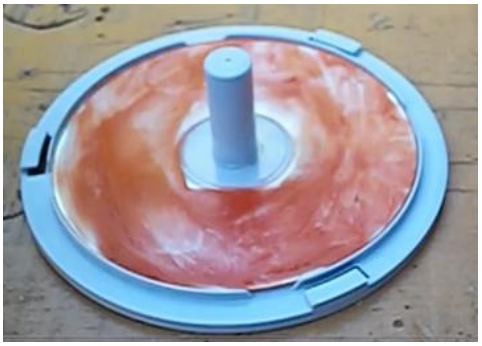


Figura 111: Colando os CDs/DVDs, alinhando com o suporte.

Depois de colados espere secar a cola e para que fique bem colado encaixe alguma embalagem vazia e depois coloque algum peso em cima (Fig. 112 a e b).

(a)

(b)

Figura 112: Colando peso para facilitar a colagem dos CDs/DVDs.

Depois de secar a cola seu volante deve estar como na Fig. 113. Depois pegue um gravador de DVD (Fig. 114) e encaixe-o no meio dos CDs/DVDs (Fig. 115) para que fiquem sempre alinhados e para que possamos encaixá-lo no virabrequim.

Figura 113: CDs/DVDs colados.

Figura 114: gravador de DVD

Figura 115: Gravado de DVD encaixado nos CDs/DVDs.

Depois pegue um raio de bicicleta, encaixe um conector de fio de luz (Fig. 116) e parafuse o gravador de DVD, na parte de trás do CDs/DVDs que foram colados (Fig. 117).

Figura 116: Conector de fio de luz encaixado no gravador de CDs/DVDs.

Figura 117: Parafusando o gravador de CDs/DVDs.

Agora na parte onde está o conector do fio de luz fixe-a com durepox (Fig. 118), de modo que o durepox não fique muito pesado no volante, depois do durepox seco desencaixe o raio, seu volante está pronto (Fig. 119). Depois é só encaixa-lo no virabrequim e apertá-lo com o conector de fio de luz.

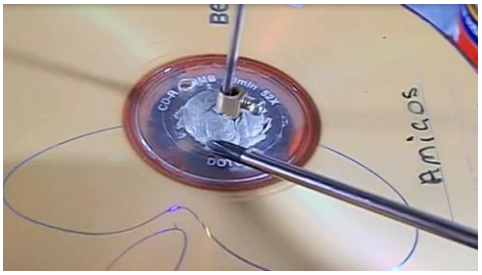


Figura 118: Conector de fio de luz colado com durepox no gravador de CDs/DVDs.

Figura 119: Volante pronto.

12 – LAMPARINA

Para fazer a lamparina você precisará de uma lata de desodorante spray vazia, um pedaço de alumínio e álcool 92%.

Primeiro retire todo o gás de dentro do desodorante spray, meça 4 cm a partir da parte superior (Fig. 120), faça uma marcação ao redor de todo o desodorante nesta medida, depois pegue uma folha de jornal ou papel e enrole ao um pouco abaixo da medida para facilitar segurar o desodorante durante o corte (Fig. 121).

Figura 120: Medida da altura da lamparina.

Figura 121: Papel enrolado na lata de desodorante.

Depois com uma serra de ferro corte-a (Fig. 122), após cortá-la com o auxílio de um alicate retire o a tampa interna do desodorante (Fig. 123).

Figura 122: Cortando a lata de desodorante com a serra de ferro.

Figura 123: Desencaixando a tampa interna da lata de desodorante.

Agora pegue uma placa de alumínio, corte com diâmetro 1 cm maior que o diâmetro da lamparina (Fig. 124) e cole no fundo da lata com a cola de silicone de alta temperatura (Fig. 125), deixe secar por algumas horas.

Figura 124: Medida da placa de alumínio.

Figura 125: Colando a placa de alumínio na lamparina.

Logo após a lamparina estar seca, com um pedaço de pano de algodão faça uma tira que será o pavio da lamparina, coloque-a dentro da lamparina (Fig. 126). Em seguida pegue álcool 92 % e deposite dentro da lamparina uma quantidade suficiente para ela ficar cheia pela metade, com o auxílio de um raio de bicicleta afaste o pavio da lamparina deixando um pequeno espaço para a pressão interna poder sair (Fig. 127), sua lamparina já está pronta para o uso.

Figura 126: Encaixando o pavio na lamparina.

Figura 127: Folga deixada ao lado do pavio.

13 – BASE DO MANÔMETRO

Para a base do manômetro precisaremos de duas partes do fundo de latas de refrigerante colocadas uma dentro da outra a altura dependerá da altura do furo que foi feita para colocar o cano onde será encaixado o manômetro. Sua base deverá ficar assim (Fig. 128).

Figura 128: Suporte do manômetro.

14 – DIRECIONADOR DA CHAMA DA LAMPARINA

Para o direcionador da chama da lamparina você necessitará de uma lata de extrato de tomate com diâmetro de 5 cm e com 7 cm de altura (Fig. 128). Se for difícil encontrar uma lata com essas características você poderá substituir por uma lata de leite condensado com 9 cm de altura e 6,5 cm. Nesta lata você deverá abrir um retângulo por onde entrará o ar e dessa forma não deixará apagar a chama da lamparina. Este direcionador é necessário para evitar que a chama pegue na cola do vidro do cilindro quente.

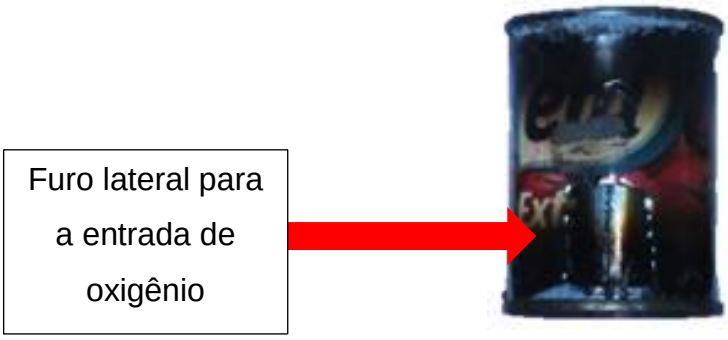


Figura 129: Direcionador da chama da lamparina.

Agora você já tem todas as partes do motor Stirling ele está pronto para o uso.