



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 mantêm 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.

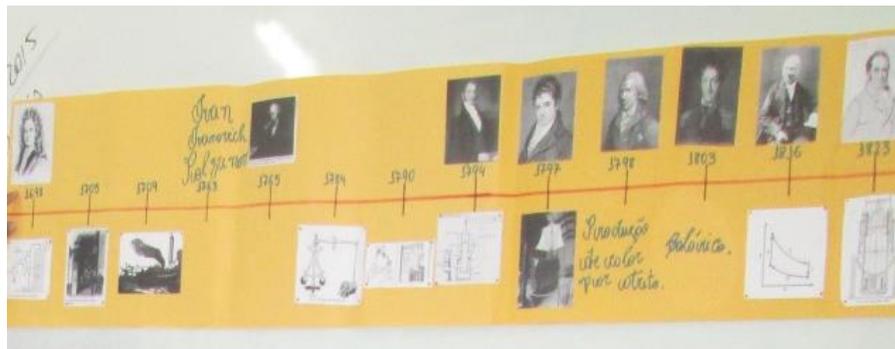
Os materiais necessários para confeccionar a linha do tempo que devem ser solicitado aos discentes trazerem para esta aula são:

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

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 Vitruvius 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 Développer 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 Polytechnique* 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 mantêm a temperatura constante) e por duas *adiabáticas* (que mantêm 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 Ognoslav 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

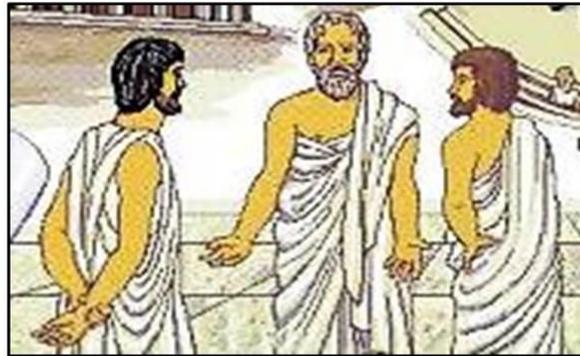
GUIA DA LINHA DO TEMPO

- 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 Vitruvius 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 Développer 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 – *Ciclo Otto*
- 30** – 1879 → Ognoslav 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.

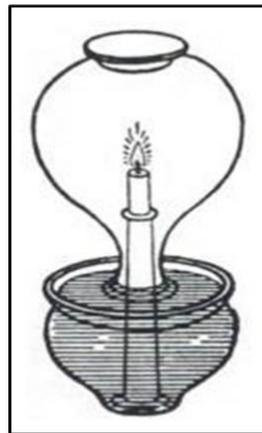
APÊNDICE B – III

IMAGENS DOS INVENTORES E DOS INVENTOS



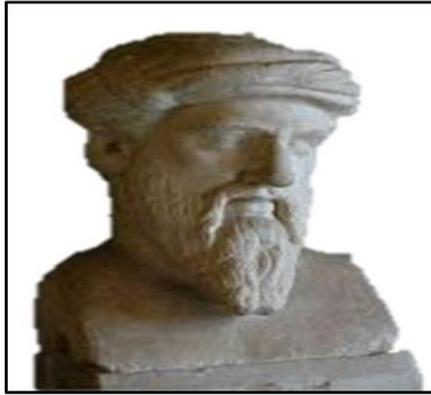
1 – EMPEDOCLES, ESTRATÃO E PHILON

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



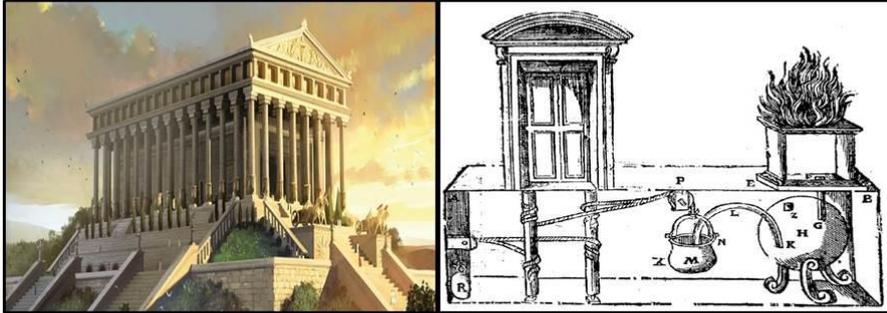
1 – TERMÔMETRO DE PHILON

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



2 – TEODORO DE SAMOS

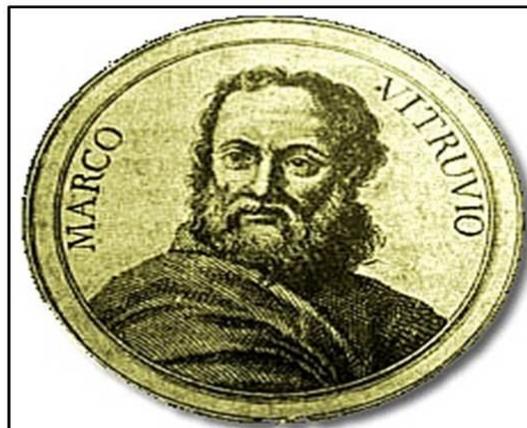
<http://m1.paperblog.com/i/211/2112342/noche-que-nacio-filosofia-L-XCNJW1.jpeg>



2 – TEMPLO DEUSA DIANA

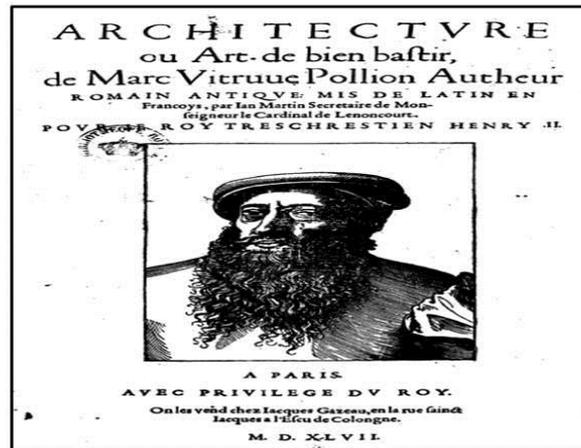
http://www.awn.com/sites/default/files/styles/original/public/image/featured/1016090-syfy-announces-new-scripted-series-olympus.jpg?itok=S20_BOXw

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



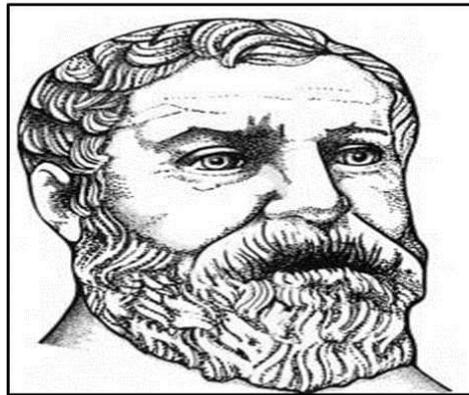
3 – MARCO VITRUVIO POLLIO

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



3 – TRATADO DE ARCHITECTURA

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



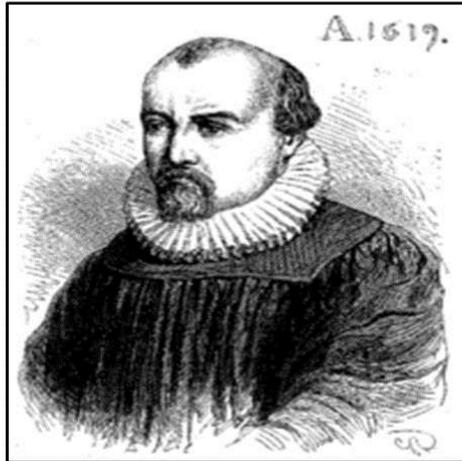
4 – HERON DE ALEXANDRIA

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



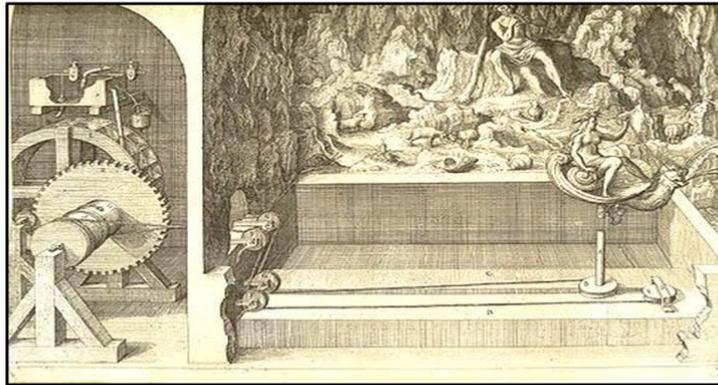
4 – EOLÍPILA

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



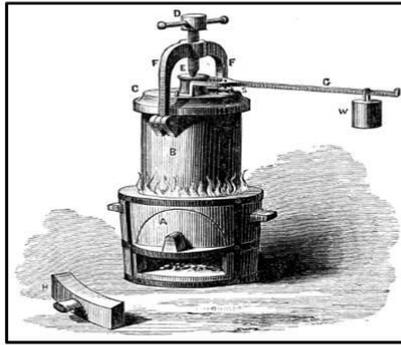
5 – SISTEMA DESCRITO POR CAUS

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



6 – DENIS PAPIN

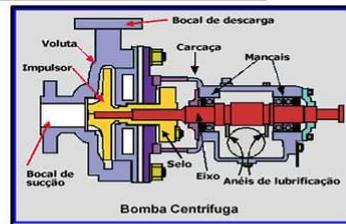
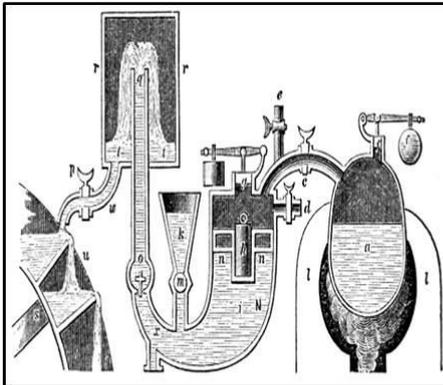
http://www.bookiejar.com/Content/Books/7ccbe2a1-12a9-41fa-a3ff-0f8ebaf40ef6/2928_r1/35916/@public@vhost@g@gutenberg@html@files@35916@35916-h@images@illo073.png



6 – DIGESTOR DE CALOR E PANELA DE PRESSÃO

http://www.bookiejar.com/Content/Books/7ccb2a1-12a9-41fa-a3ff-0f8ebaf40ef6/2928_r1/35916/@public@vhost@g@gutenberg@html@files@35916@35916-h@images@illo075.png

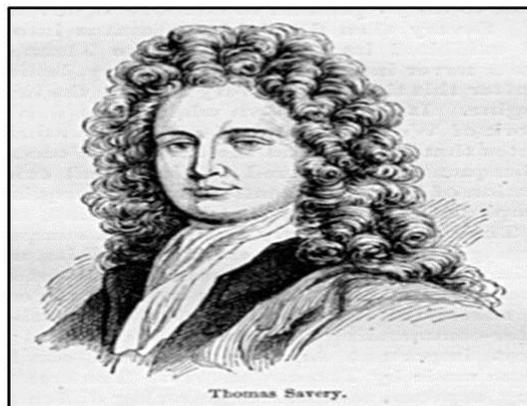
<http://www.casasbahia-imagens.com.br/Control/ArquivoExibir.aspx?IdArquivo=3373755>



7 – BOMBA CENTRÍFUGA

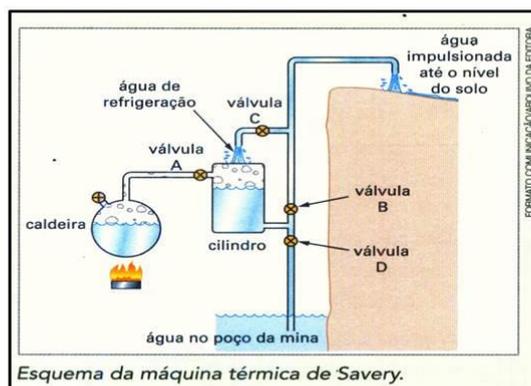
http://www.bookiejar.com/Content/Books/7ccb2a1-12a9-41fa-a3ff-0f8ebaf40ef6/2928_r1/35916/@public@vhost@g@gutenberg@html@files@35916@35916-h@images@illo080.png

<http://image.made-in-china.com/2f0j10GjSEhNZFKYqs/-Bomba-centr-fuga-industrial.jpg>
http://www.ufrnet.br/~lair/Pagina-OPUNIT/bombascentrifugas-2_arquivos/Image160.gif



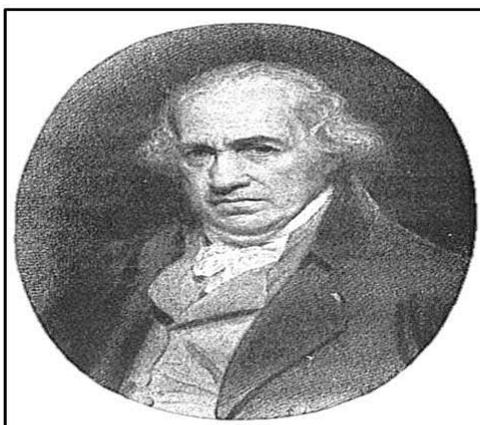
8 – THOMAS SAVERY

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



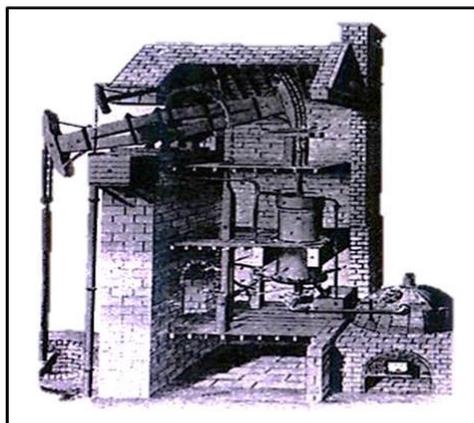
8 – MÁQUINA DE SAVERY

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



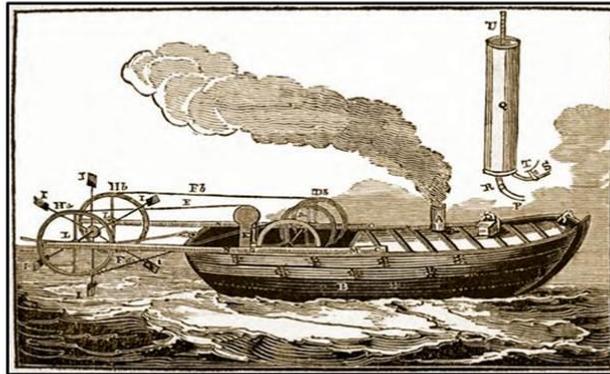
9 – THOMAS NEWCOMEN

<http://b68389.medialib.glogster.com/media/6833ceb51497559e5b215fdb7c82cd854b415b52a2b17c35ed232047af8c8fb/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/TvizHZr2II/AAAAAAAAABPU/QCshbITsduk/s1600/12_vaporbarco.png](http://3.bp.blogspot.com/-Bn8dD2wqc6E/TvizHZr2II/AAAAAAAAABPU/QCshbITsduk/s1600/12_vaporbarco.png)



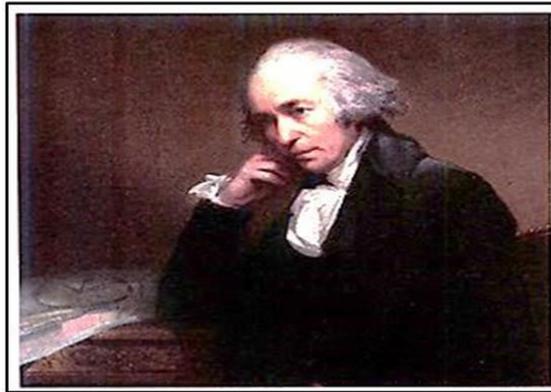
11 – IVAN IVANOVICH POLZUNOV

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



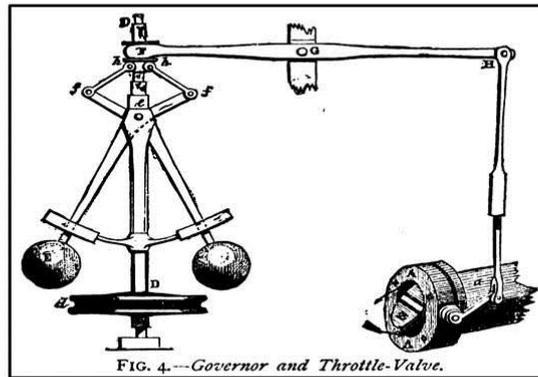
11 – MÁQUINA A VAPOR COM DOIS CILINDROS

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



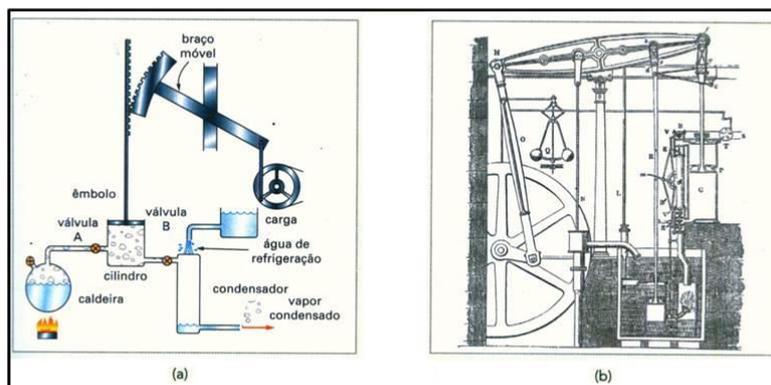
12 – JAMES WATT

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



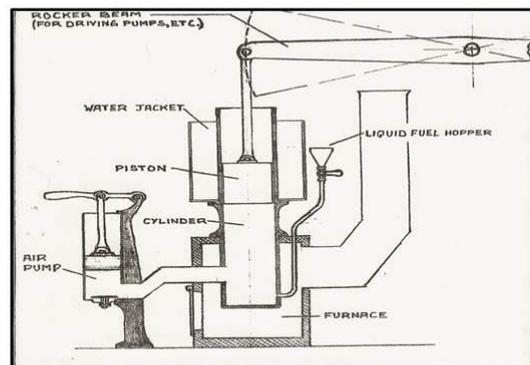
14 – MÁQUINA A VAPOR DE WATT

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>



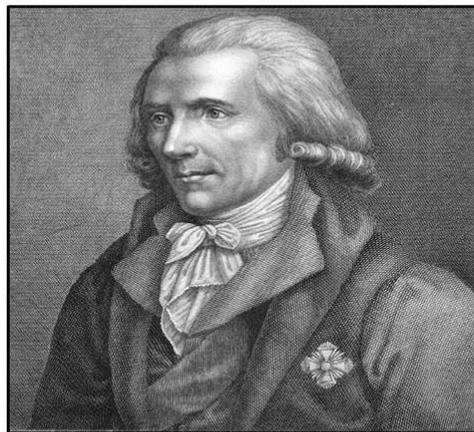
16 – ROBERT FULTON

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



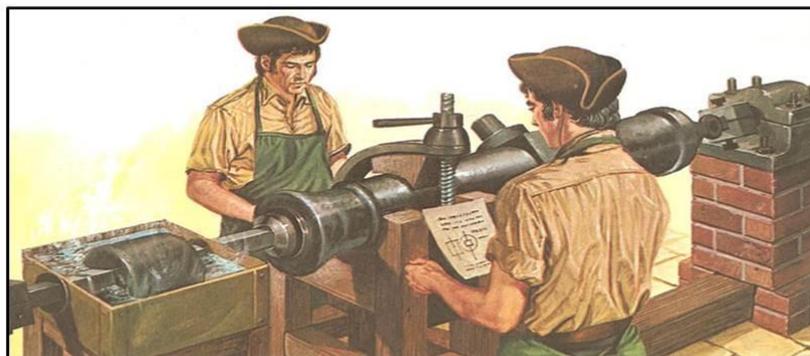
16 – NAUTILUS

<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

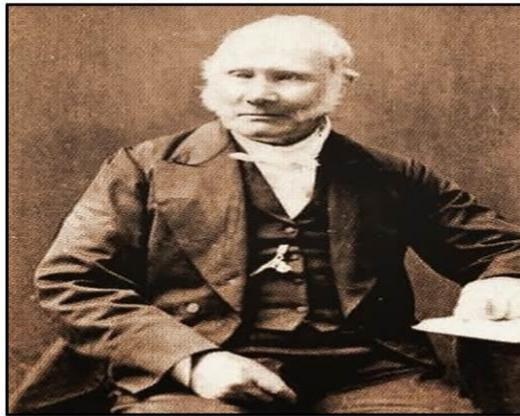


17 – EXPERIÊNCIA DE BENJAMIN THOMPSON

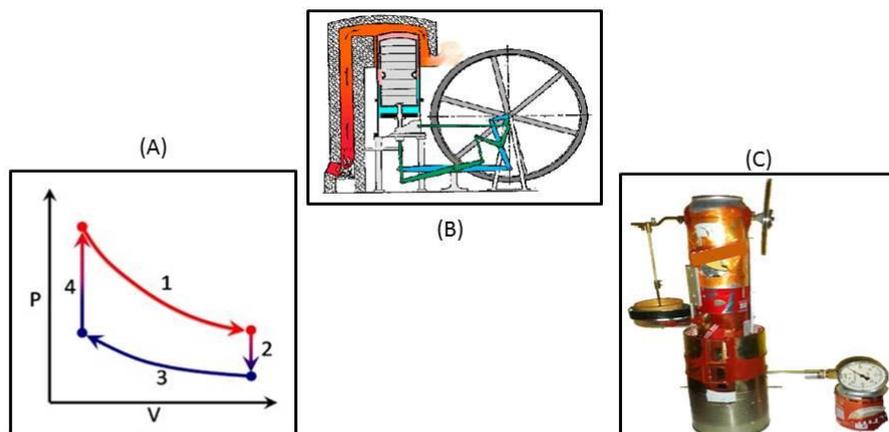
http://www.daviddarling.info/images2/cannon-boring_machine.jpg



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/UtrEaO1hNII/AAAAAAAAAz8/mCDQ5g7NUZI/s1600/Robert_Stirling-colorida-2+\(c%C3%B3pia\).jpg](http://3.bp.blogspot.com/-wsx1WKbitaQ/UtrEaO1hNII/AAAAAAAAAz8/mCDQ5g7NUZI/s1600/Robert_Stirling-colorida-2+(c%C3%B3pia).jpg)

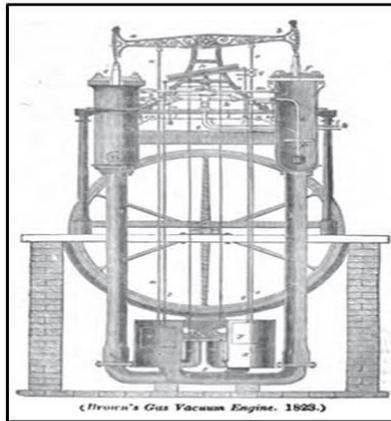


19 – CICLO E MOTORES STIRLING
(A) <http://www.physicspr.com/images/autocad/stirlingcycle.jpg>
(B) <http://www.moteurstirling.com/Imagem/airchaud1.gif>
(C) Fonte: Própria autora.



20 – SAMUEL BROWN

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



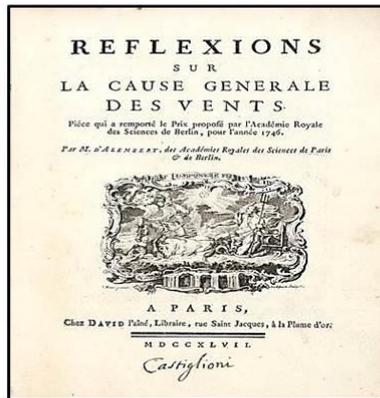
20 – MOTOR A GÁS

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



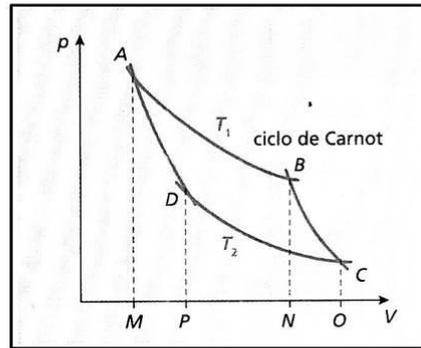
21 – NICOLAS SADI CARNOT

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



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>



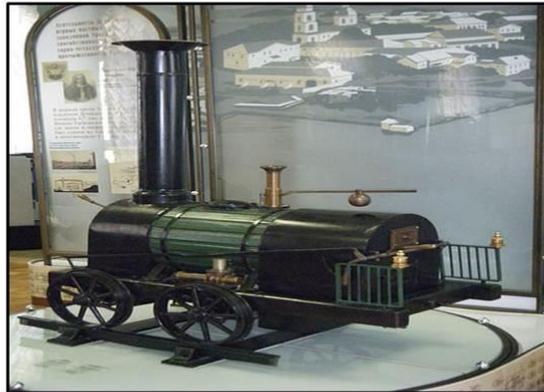
22 – TURBINA A VAPOR

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



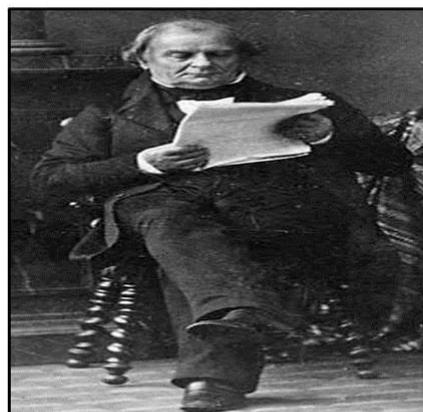
23 – YEFIM E MIRON CHEREPANOV

<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

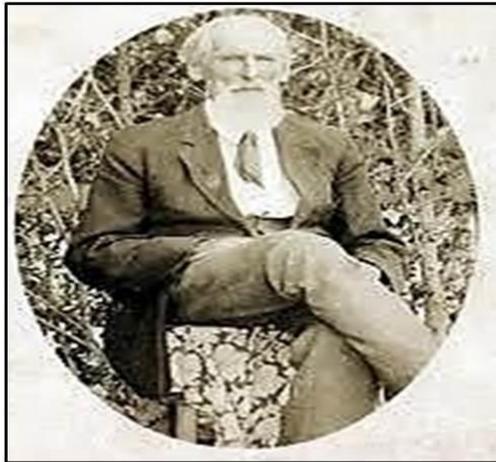
$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

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

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

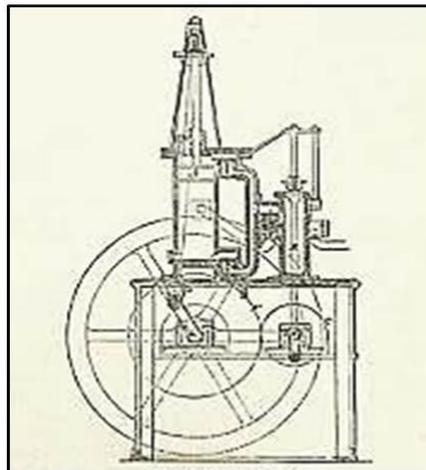
- T: temperatura

24 – EQUAÇÃO DE CLAPEYRON



25 – WILLIAM BARNETT

Fonte desconhecida



25 – MÁQUINA DE BARNETT

<http://3.bp.blogspot.com/-GCBK10hNJe4/Ush0aksBMKI/AAAAAAAAABc0/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>



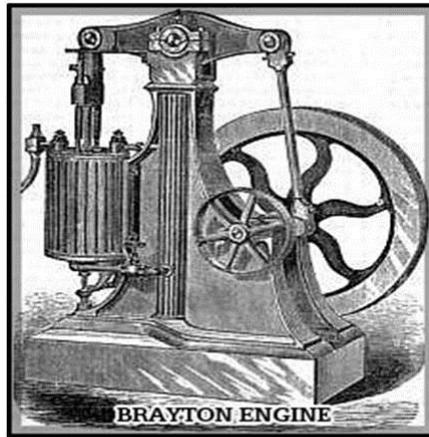
27 – ALPHONSE EUGÈNE BEAU DE ROCHAS

<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>



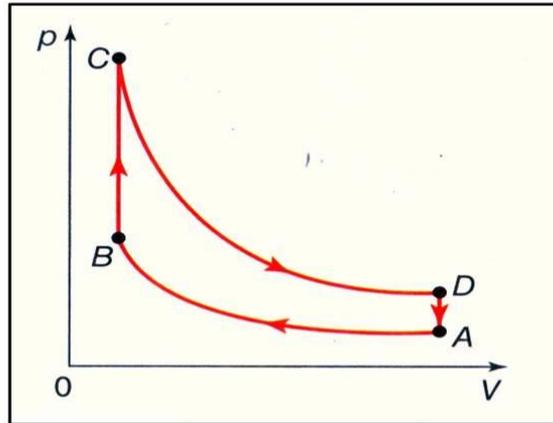
28 – MÁQUINA DE BRAYTON

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



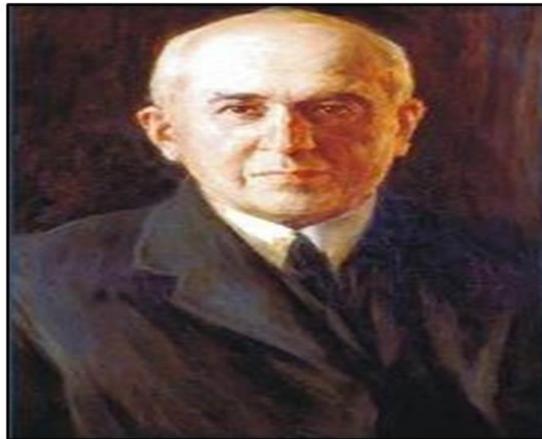
29 – NIKOLAUS AUGUST OTTO

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



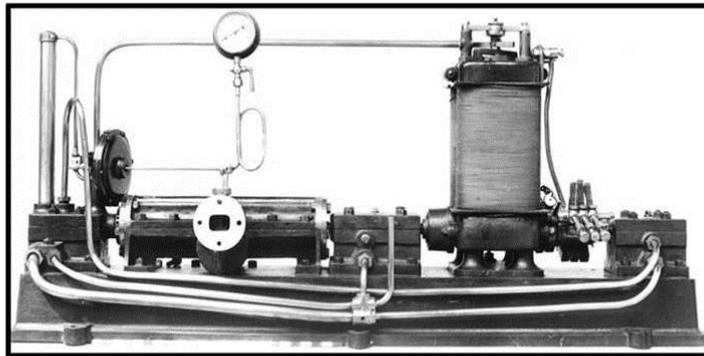
30 – MÁQUINA KOSTOVICH

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



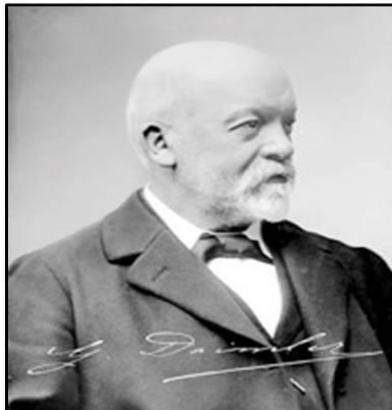
31 – CHARLES ALGERNON PARSONS

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



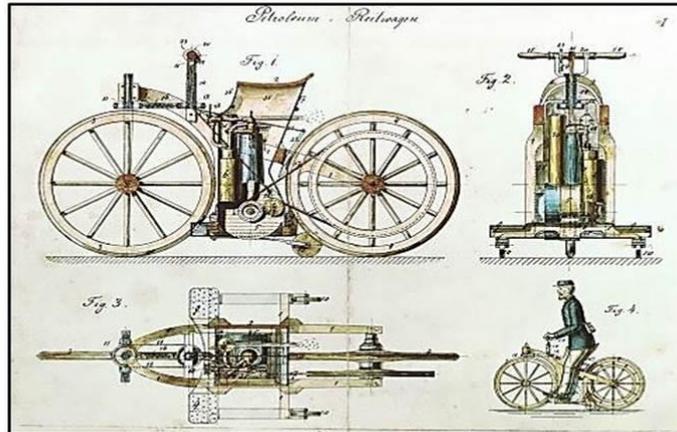
31 – TURBINA DE PARSONS

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



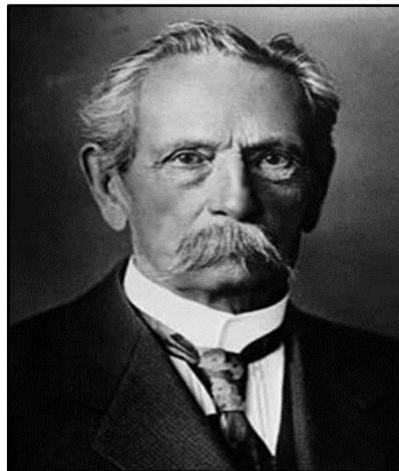
32 – GOTTLIEB DAIMLER

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



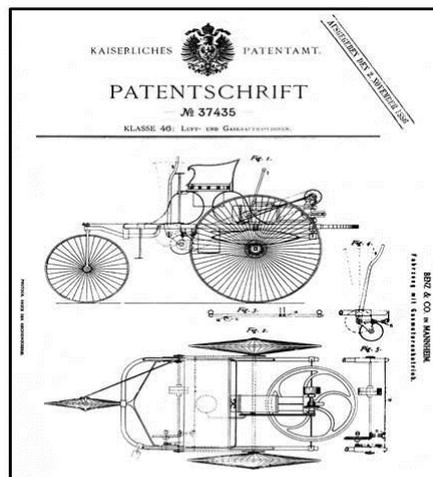
32 – PRIMEIRA MOTOCICLETA

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



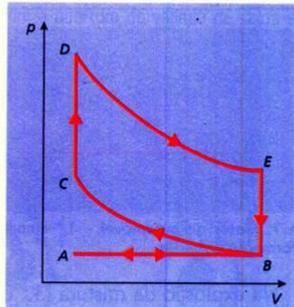
34 – RUDOLF CHRISTIAN KARL DIESEL

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

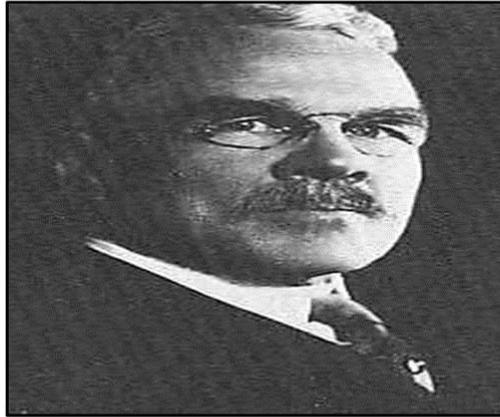
Fonte: Gaspar, Alberto. **Compreendendo a Física: ensino médio 2**. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2010.



35 – AUTOMÓVEL TRICICLO

[http://www.mercedes-](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)

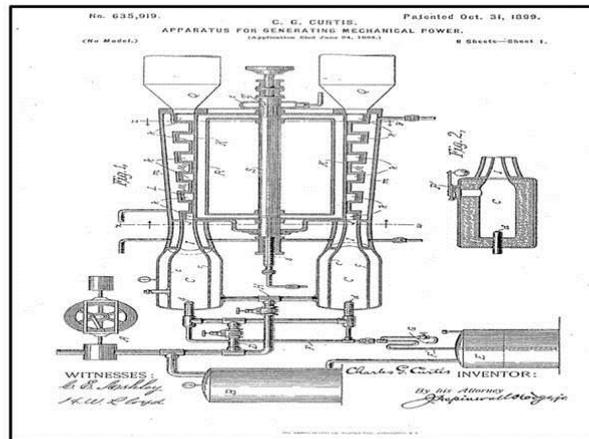
[benz.de/content/media_library/hq/hq_mpc_reference_site/passenger_cars/passenger_cars_world/heritage/history/passenger_cars/1886-1900/history_vehicles_pc.object-Single-MEDIA.tmp/1886_BenzPatentMotorCar_410x230.jpg](http://www.mercedes-benz.de/content/media_library/hq/hq_mpc_reference_site/passenger_cars/passenger_cars_world/heritage/history/passenger_cars/1886-1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



36 – CHARLES CURTIS

[http://2.bp.blogspot.com/-](http://2.bp.blogspot.com/-XKBMZRSrdIY/T4yQS3ERSZI/AAAAAAAAALQ/JacWLI_1CWE/s1600/Charles_Gordon_Curtis.jpg)

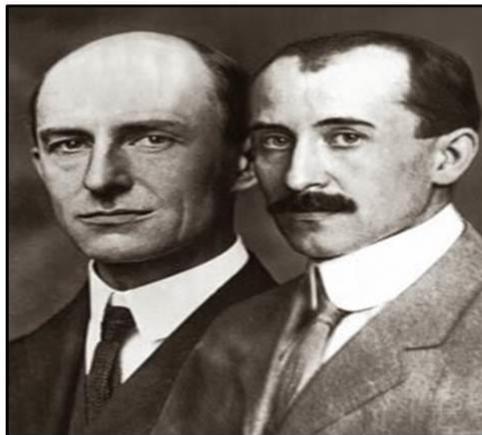
[XKBMZRSrdIY/T4yQS3ERSZI/AAAAAAAAALQ/JacWLI_1CWE/s1600/Charles_Gordon_Curtis.jpg](http://2.bp.blogspot.com/-XKBMZRSrdIY/T4yQS3ERSZI/AAAAAAAAALQ/JacWLI_1CWE/s1600/Charles_Gordon_Curtis.jpg)



36 – TURBINA Á GAS

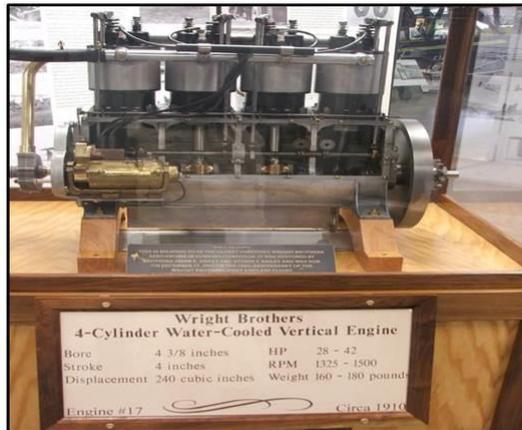
[http://2.bp.blogspot.com/-DWW-](http://2.bp.blogspot.com/-DWW-9ys7bzs/T4ySVvm6LeI/AAAAAAAAALY/IPbAnsRfHYk/s1600/patent+sketch.jpg)

[9ys7bzs/T4ySVvm6LeI/AAAAAAAAALY/IPbAnsRfHYk/s1600/patent+sketch.jpg](http://2.bp.blogspot.com/-DWW-9ys7bzs/T4ySVvm6LeI/AAAAAAAAALY/IPbAnsRfHYk/s1600/patent+sketch.jpg)



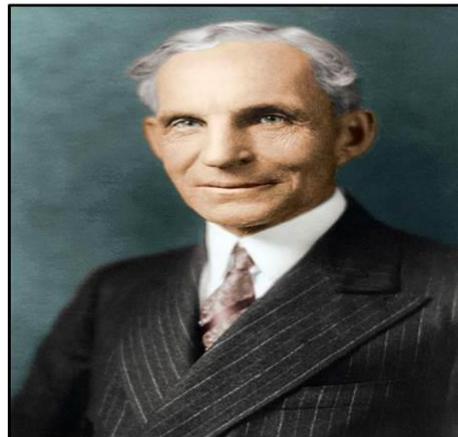
37 – IRMÃOS WRIGHT

<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



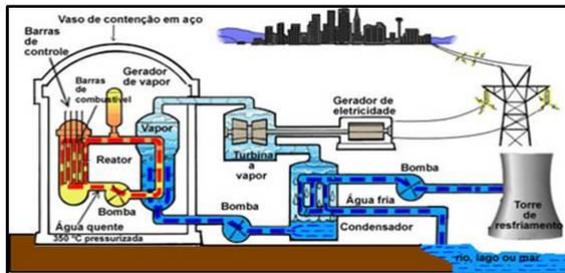
38 – HENRY FORD

http://news.nster.com/images/uploaded/00/01/20/12022_400x400.jpg



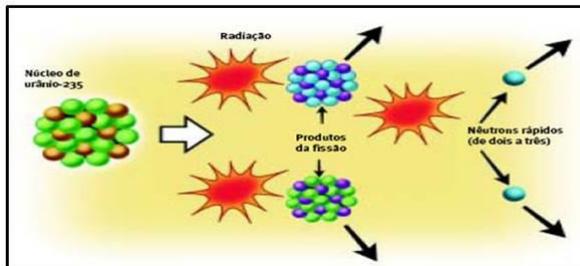
38 – LINHA DE MONTAGEM – FÁBRICA FORD

<http://imodern.com/final-assembly-line.jpg>



39 – REATOR NUCLEAR

<http://brasilecola.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 diminuimos 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

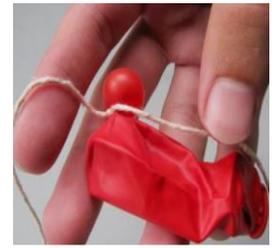


Figura 6

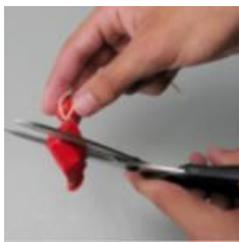


Figura 7

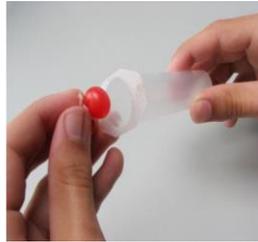


Figura 8



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=ZGVmYXVsdGRvbWFpbmxyYXlzYXp1cnJhc2FyYWl2YXxneDpjYTAwMmFkZDgyMWE4M2M>

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=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnyYXlzYXp1cnJhc2FyYWI2YXxneDpjYTAwMmFkZDgyMWE4M2M>

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 4°C 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 descera, 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

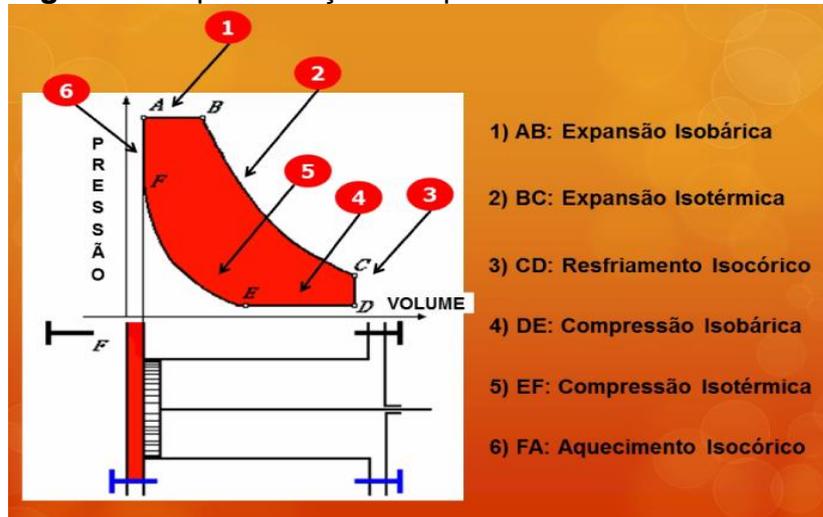
2.1 **ISOTÉRMICA** ($\Delta T = 0$) \rightarrow não há variação de temperatura e de energia interna.

2.2 **ISOVOLUMÉTRICA OU ISOCÓRICA** ($\Delta V = 0$) \rightarrow não existe variação de volume e, portanto não há trabalho.

2.3 **ISOBÁRICA** ($\Delta P = 0$) \rightarrow a pressão se mantém constante e o volume é proporcional a temperatura.

2.4 **ADIABÁTICA** ($Q = 0$) \rightarrow 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

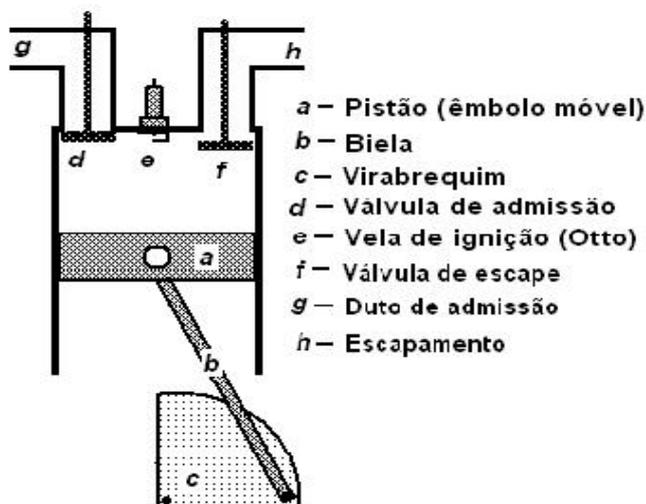
Responsável pelo projeto do motor a 4 tempos em 1876, Nikolaus August Otto (1832-1891), engenheiro alemão, teve sua patente revogada em 1886 porque alguém já tinha tido essa ideia. Porém Otto e seus dois irmãos não se deram por satisfeitos e construíram os primeiros protótipos do seu motor, onde obtiveram 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;

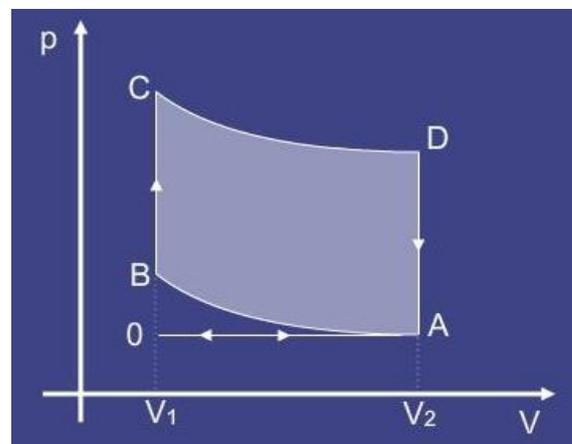
Descreveremos a seguir os elementos que compõe o motor

Figura 7: Principais Partes de uma máquina térmica Otto



Fonte: Daniel Schulz. UFRGS. 2009.

Figura 6: Diagrama PV do ciclo de Otto (motor à explosão)



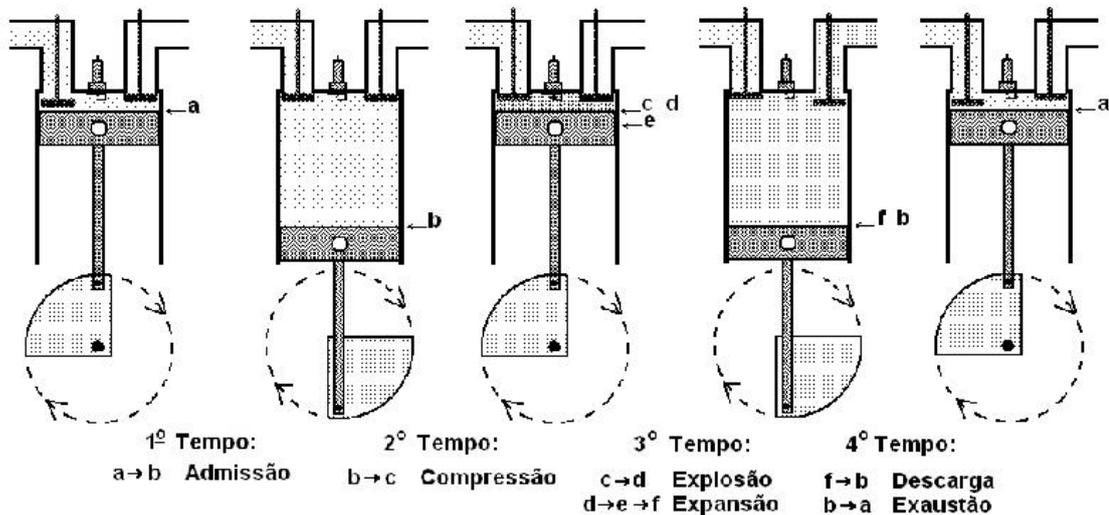
Fonte: Daniel Schulz – UFRGS - 2009

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).

A seguir está um corte lateral e a relação do processo

detalhado no ciclo de Otto.

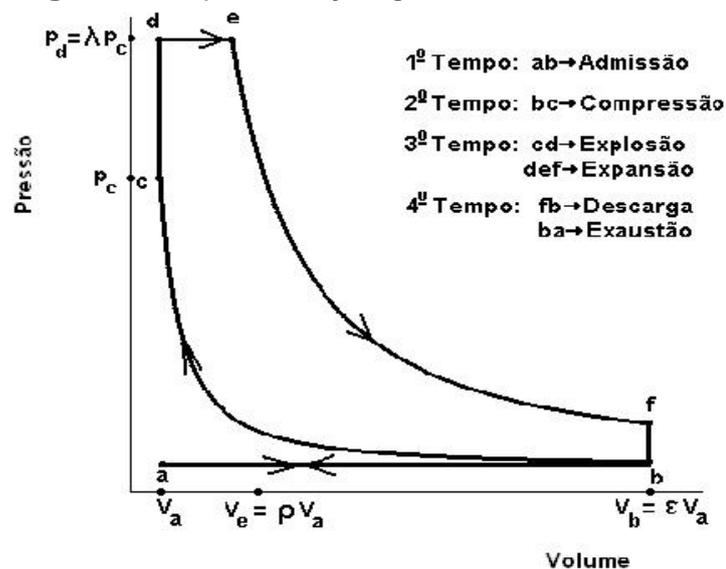
Figura 8: Corte do motor e relação das etapas (Otto)



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

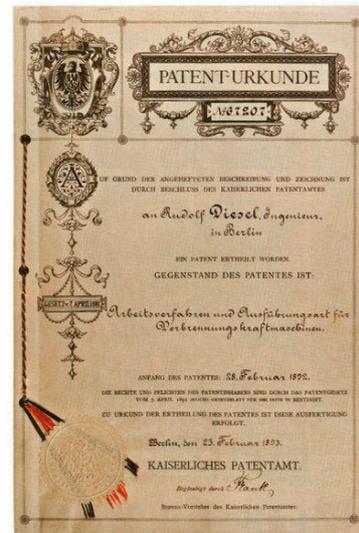
Rudolf Diesel patenteou um motor à combustão de elevada eficiência, demonstrando em 1900, um motor movido a óleo de amendoim, cuja tecnologia leva seu nome até hoje. Na figura 6 encontra-se uma cópia do documento que garantiu a patente a Rudolf Diesel.

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 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

Figura 10: Patente do motor Diesel



Fonte: Wikipédia. do

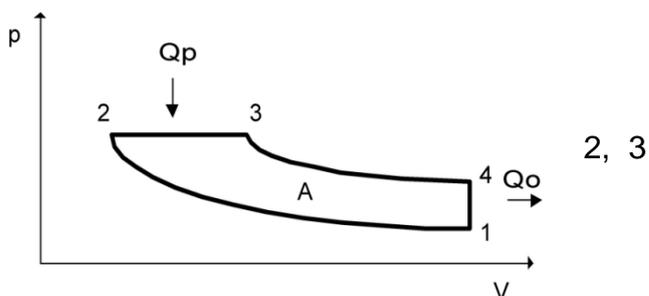
mudança deste para o próximo estado, ocorre uma expansão adiabática. Finalmente, ocorre uma transformação isocórica onde a máquina perde calor e a partir daí, reinicia-se o ciclo.

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, e 4 são os estados do sistema termodinâmico.

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.

Figura 11: Diagrama pV que representa o ciclo Diesel.

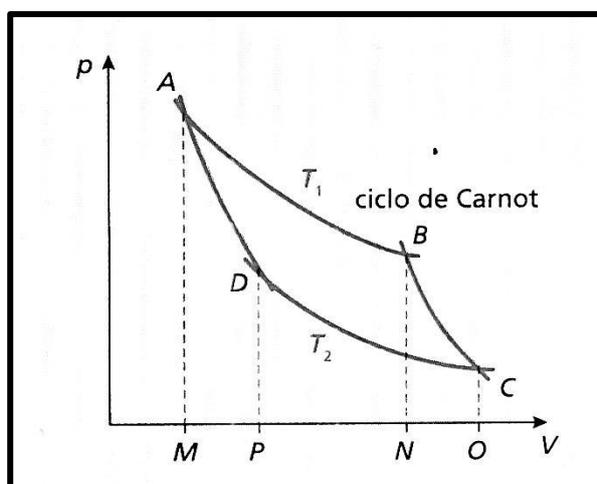


3.2 Ciclo de Carnot

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.

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.

Figura 12: Ciclo de Carnot



Assim temos que os processos descritos neste ciclo:

1. **Expansão isotérmica** $\rightarrow AB$ onde o gás retira energia térmica da fonte quente;
2. **Expansão adiabática** $\rightarrow BC$ onde o gás não troca calor;
3. **Compressão isotérmica** $\rightarrow CD$ onde o gás rejeita energia térmica para a fonte fria;
4. **Compressão adiabática** $\rightarrow DA$ 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, conseqüentemente, 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 contém um regenerador ou economizador que permite obter uma eficiência superior ao dos motores de gasolina, diesel e máquinas a vapor e também economizar energia.

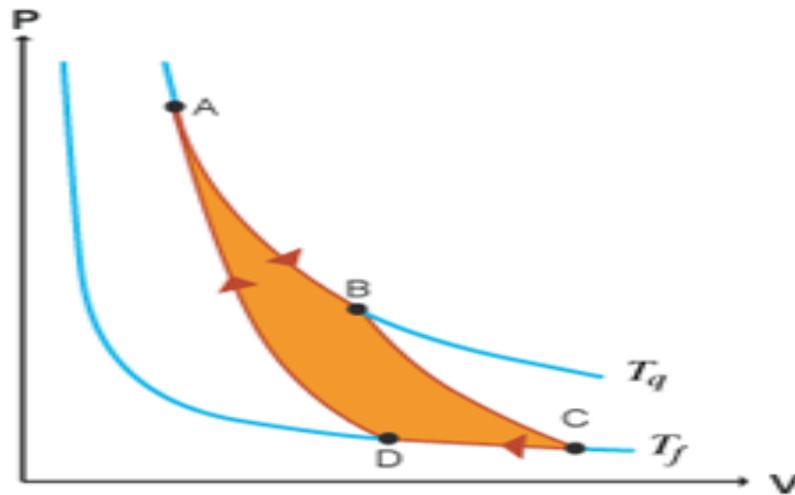
3.2.1 Como funciona o Motor Stirling?

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, T_f e T_q , 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 T_q . 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, $|Q_f|$, 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

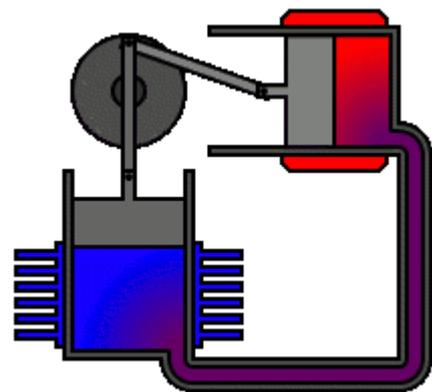
qual aumenta novamente a sua temperatura até T_q , sem que haja qualquer troca de calor no sistema.

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:

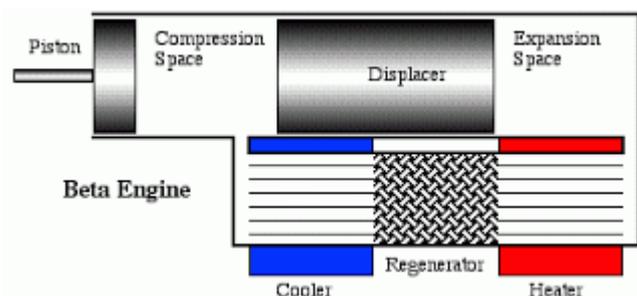
- **Alfa:** Este tipo de motor foi projetado por U. S. Rider. Possui dois pistões instalados em cilindros independentes, cujo movimento alternado faz o gás deslocar-se entre o espaço quente e o espaço frio. Ambos os cilindros estão ligados por um tubo onde está situado o regenerador que armazena e transfere 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 14: Motor Stirling tipo Alfa.



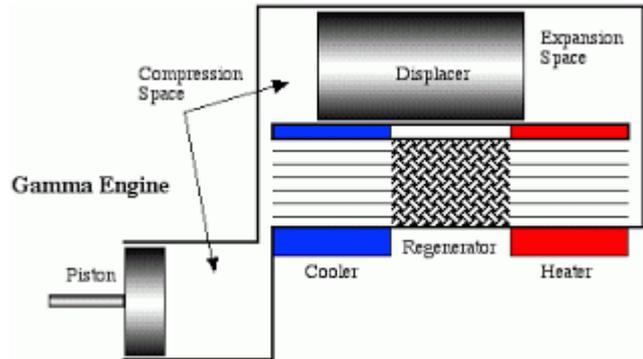
- **Beta:** Este foi o tipo de motor projetado por Robert Stirling. É constituído por um cilindro dividido em duas zonas, uma quente e outra fria, que, com ajuda de dois pistões dentro desse mesmo cilindro, vão permitir movimentar o ar quente para a zona de ar frio e vice-versa. Para permitir o funcionamento 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.

Figura 15: Motor Stirling tipo Beta.



- 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

- 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.
- 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.
- O seu funcionamento silencioso:** o facto de não possuir válvulas nem muitos elementos móveis, o nível de ruído e vibração é baixíssimo.
- 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

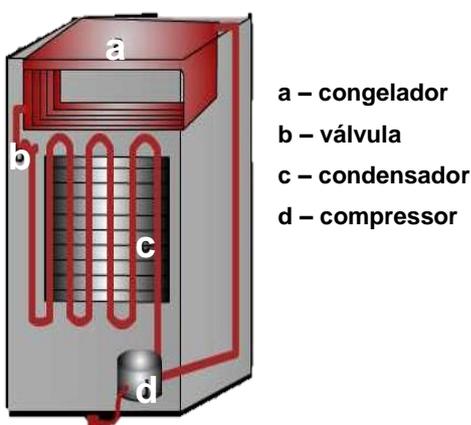
1. **Elevado custo:** O motor Stirling ainda é mais caro do que, por exemplo, um motor Diesel da mesma potência. Esta diferença de preço, provem da fabricação e da produção dos seus elementos que, apesar de serem simples, têm de ter materiais específicos.

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.

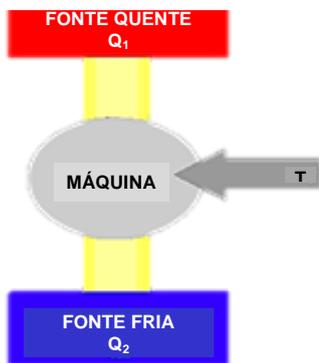
Figura 17: Partes de uma Geladeira



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?

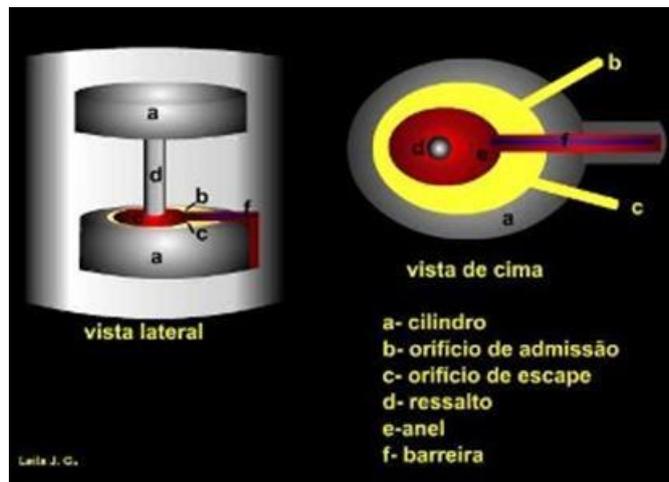
Figura 18: Fonte quente e fria.



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 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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: _____

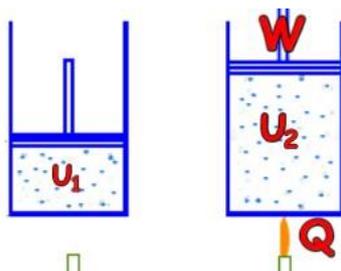
DATA: ___/___/___ – SÉRIE/TURMA: _____

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.
- Lâmpada com álcool etílico 92% e proteção para a lâmpada.
- 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 4: Luvas para proteção.



Figura 3: Proteção para a Lamparina.



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 acesa 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/cm².

TABELA 2

ORDEM	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm³)	PRESSÃO (kgf/cm²)
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?

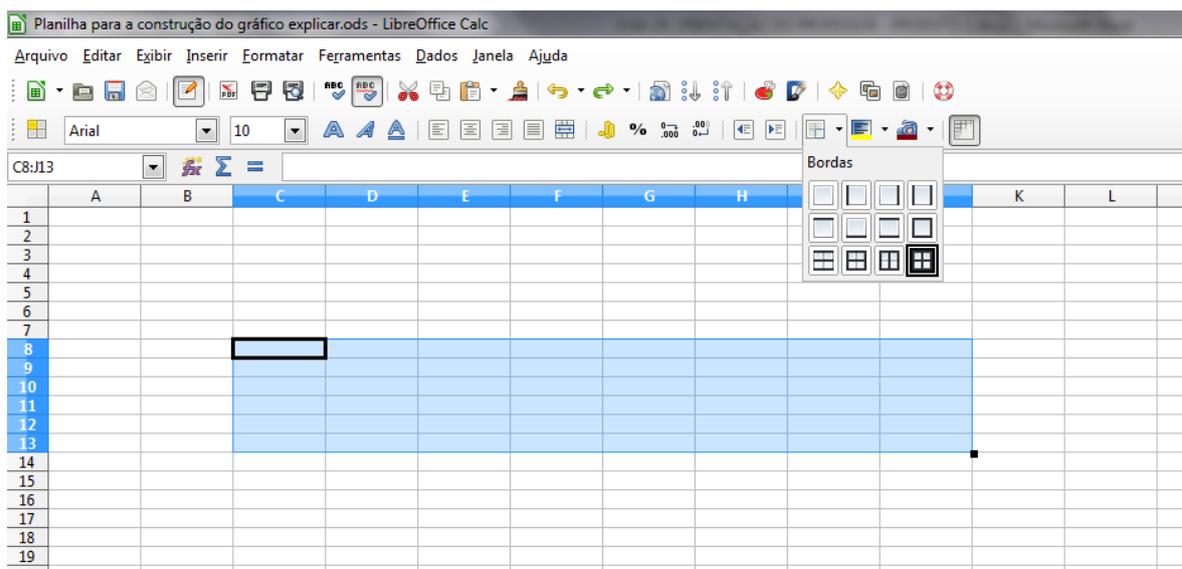
APÊNDICE E – III

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/>

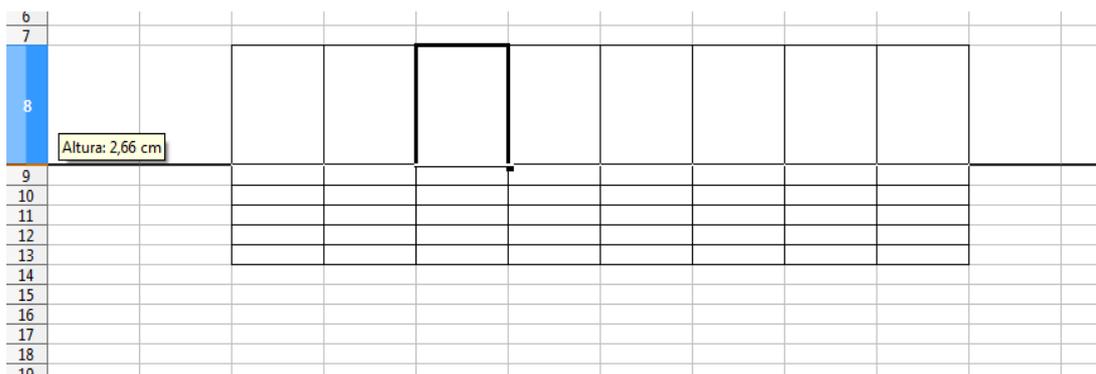
Depois de baixado e instalado é só abrir a planilha e seguir os seguintes passos.

1º Passo: Abra a planilha do *LibreOffice Calc* 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**.

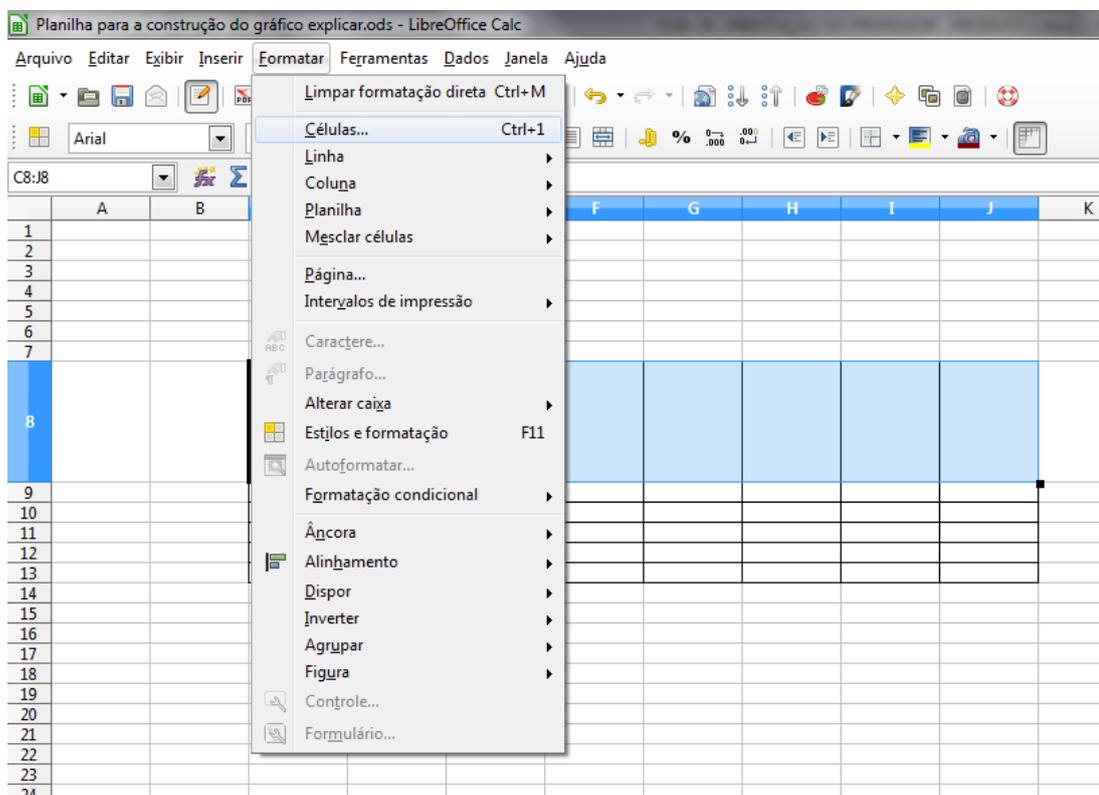
2º Passo: Selecione do C8 até o J13 e clique em inserir todas as bordas como na figura 1 abaixo.



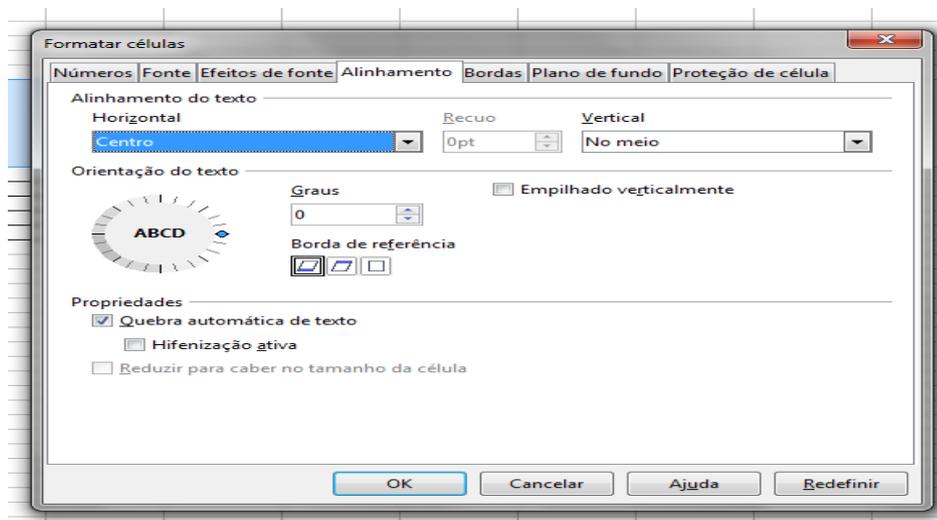
3º Passo: Aumente a linha oito até 2,66 como mostra na figura abaixo.



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.



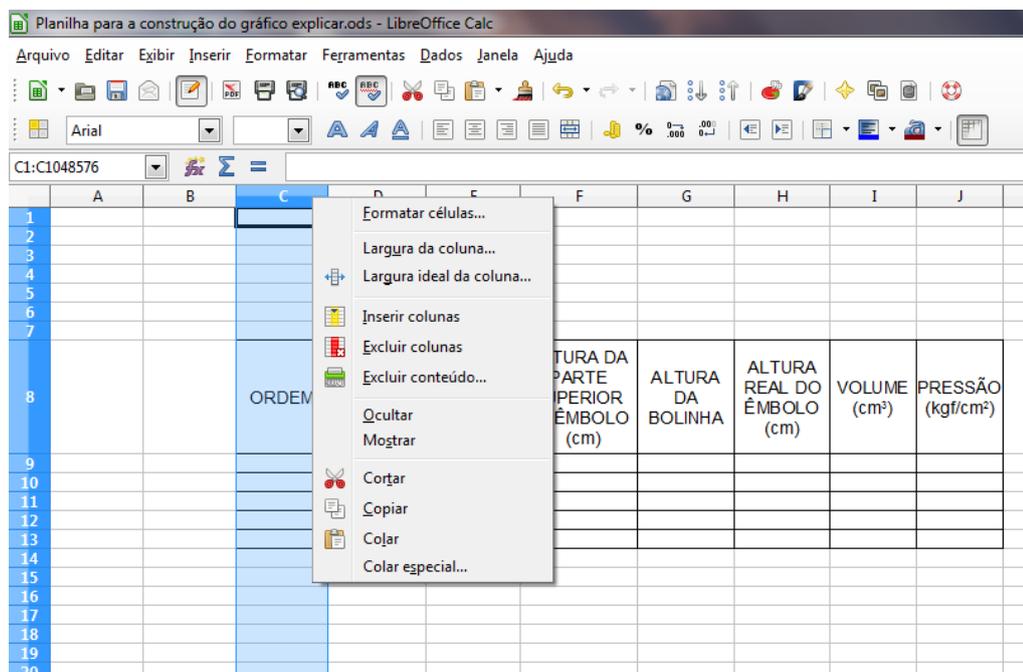
6º Passo: Depois de formatada as células escreva os nomes do cabeçalho da linha 8, conforme mostra a imagem abaixo.

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 (cm ³)	PRESSÃO (kgf/cm ²)
-------	-----------------------	------------------------	---	-------------------	----------------------------	---------------------------	--------------------------------

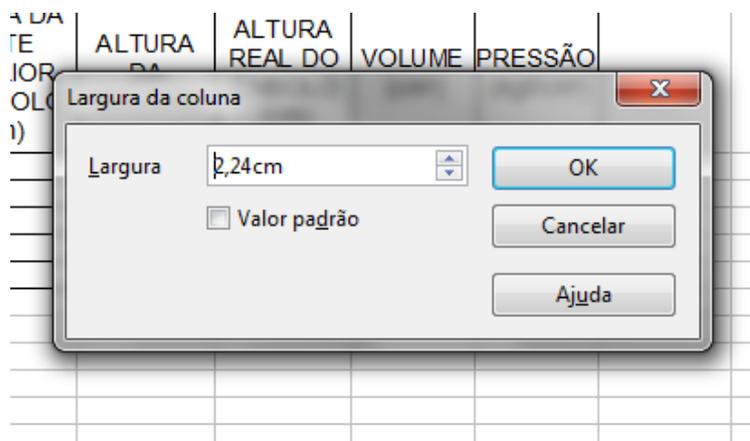
Devido o tamanho da coluna as palavras não devem estar aparecendo como mostra a imagem abaixo:

8	ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANH O DO ÊMBOLO (cm)	DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm ³)	PRESSÃO (kgf/cm ²)
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

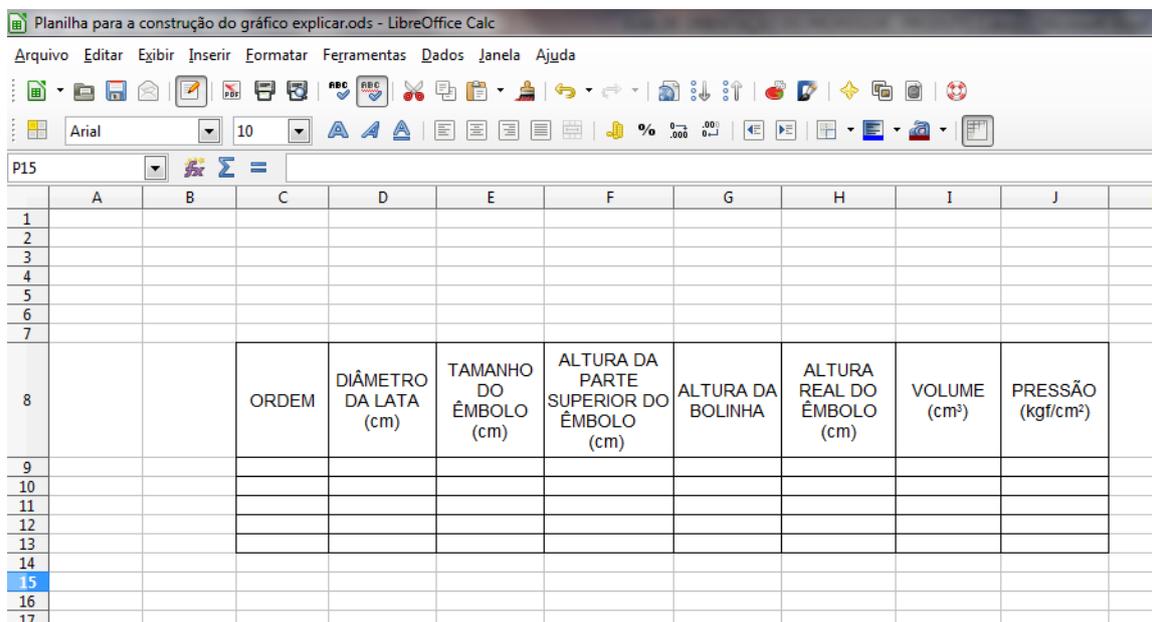
Para resolver este problema selecione a coluna desejada e clique com o lado direito do mouse, aparecerá uma aba igual a mostrada na imagem abaixo, clique em largura da coluna.



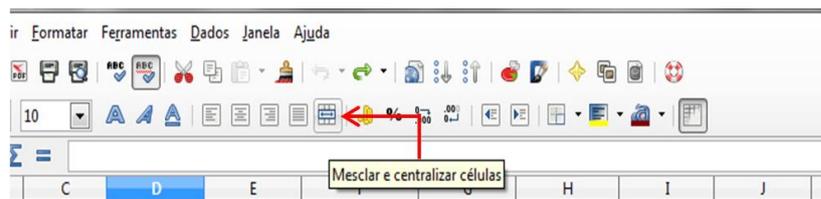
Irá aparecer uma tela chamada largura da coluna conforme a imagem abaixo, depois é só digitar a medida da coluna conforme indicado a seguir e clicar em OK. Você deve repetir este processo para cada coluna. As medidas das colunas são: coluna C – 2,24 cm; coluna D – 2,61 cm; coluna E – 2,55 cm; coluna 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.



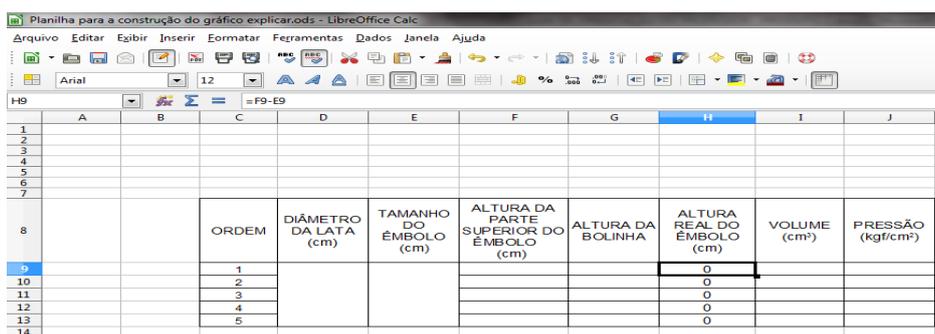
Repita este procedimento para as células E9:E13. Ao final você deverá ter uma tabela assim:

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-\$E\$9)**, teclle 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()*(D\$9/2)^2*H9** depois de terminar de escrever teclle 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:

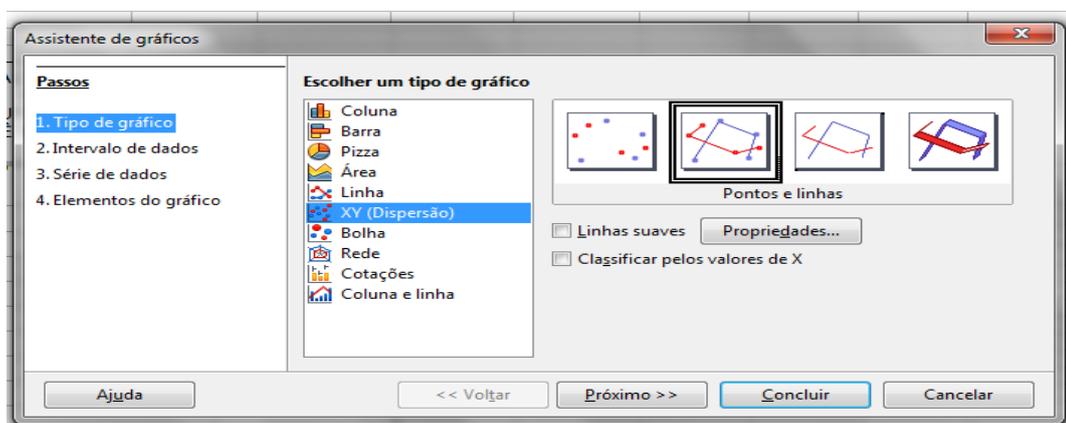
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
	ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm³)	PRESSÃO (kgf/cm²)		
9	1					0	0,00			
10	2					0	0,00			
11	3					0	0,00			
12	4					0	0,00			
13	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/cm². Então clique na célula J9 e escreva: **=0,2333*\$D\$9** depois de terminar de escrever tecla ENTER, coloque o cursor na extremidade inferior da célula até formar uma cruz e depois arraste até a célula I13. Sua tabela ficará assim:

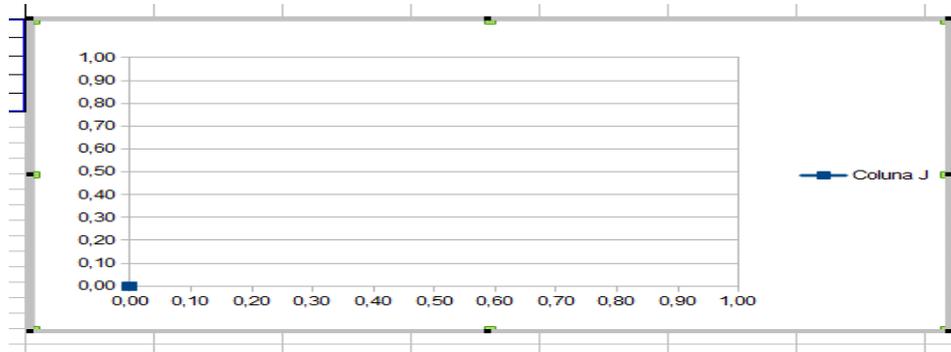
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	ORDEM	DIÂMETRO DA LATA (cm)	TAMANHO DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA PARTE SUPERIOR DO ÊMBOLO (cm)	ALTURA DA BOLINHA	ALTURA REAL DO ÊMBOLO (cm)	VOLUME (cm³)	PRESSÃO (kgf/cm²)			
	1					0	0,00	0,00			
	2					0	0,00	0,00			
	3					0	0,00	0,00			
	4					0	0,00	0,00			
	5					0	0,00	0,00			

Sua tabela já está pronta para receber os valores obtidos através do filme. Falta apenas selecionarmos os valores para criarmos o gráfico.

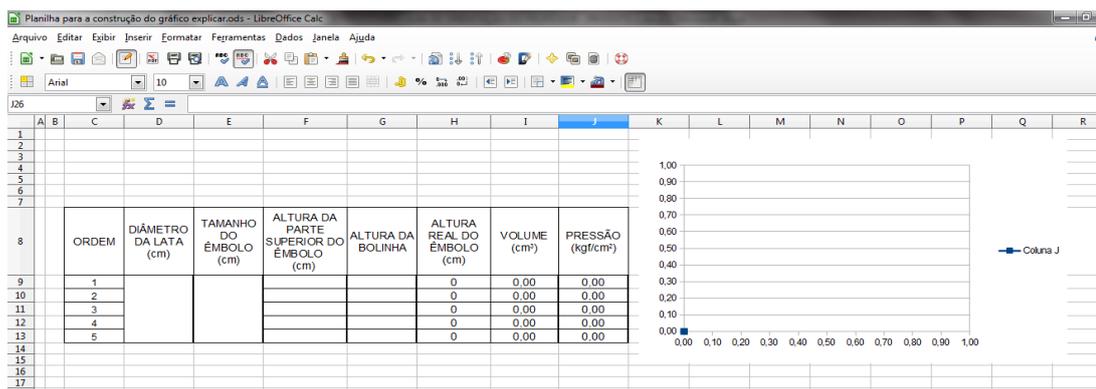
12º Passo: Para criarmos o gráfico devemos selecionar as células I9 até J13, clicar no ícone gráfico e depois na aba que irá aparecer selecionar o tipo de gráfico chamado **XY (Dispersão)**, selecione **pontos e linhas** e clique em **concluir**.



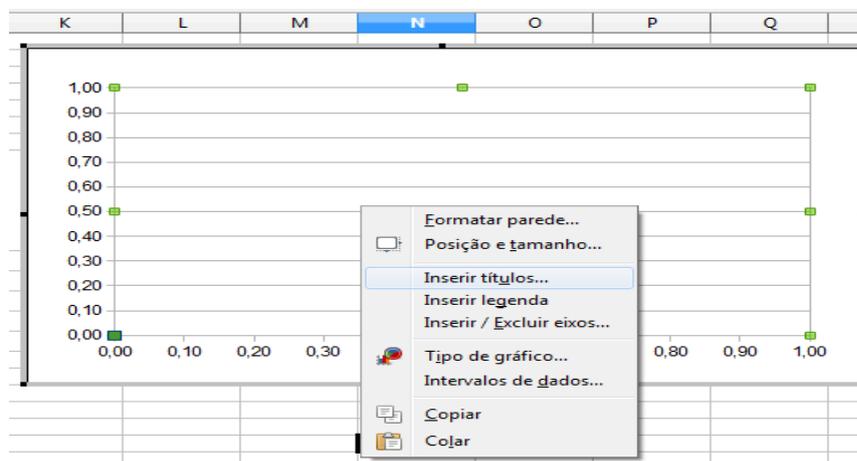
Deverá surgir uma tela onde seu gráfico será plotado. No momento como os dados ainda não foram colocados na tabela, o gráfico não aparecerá, o que deve aparecer é apenas um único ponto. A imagem obtida deve ser assim:



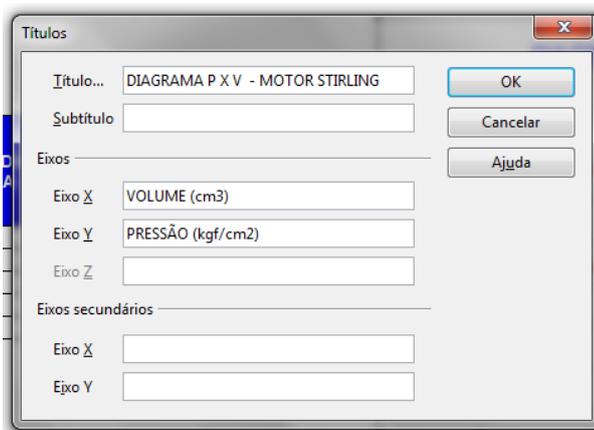
Se a área do gráfico mostrada na figura acima ficar em cima da tabela de seus dados, clique em cima da área do gráfico e arraste para fora da tabela, ela deve ficar assim:



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.

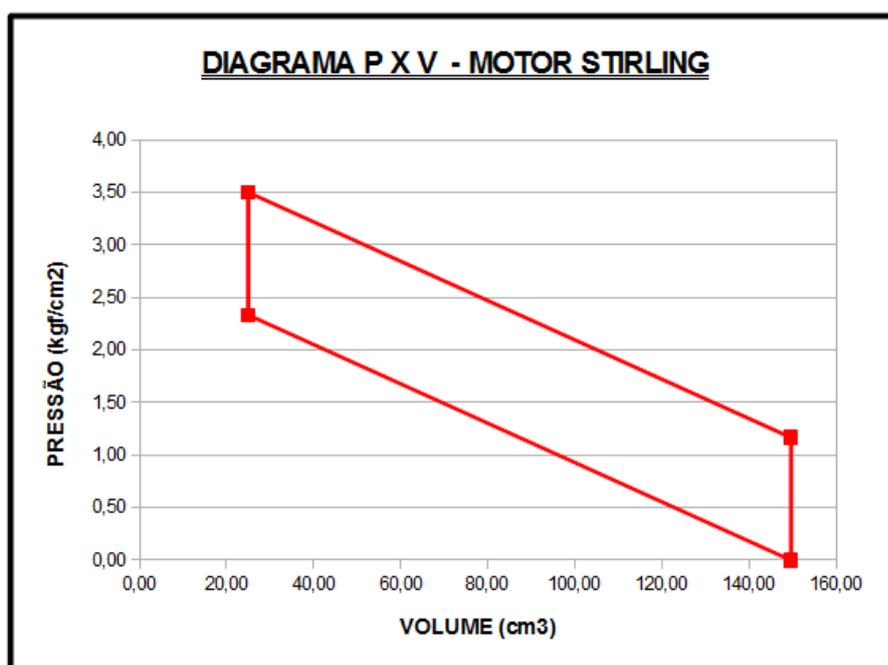


Escreva onde aparece Título: **DIAGRAMA P X V – MOTOR STIRLING**, no eixo X escreva: **VOLUME (cm3)** e no eixo Y escreva: **PRESSÃO (kgf/cm2)**.



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 (cm³)	PRESSÃO (kgf/cm²)
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



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 ensinasse 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.		<p>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.</p>
Isobárica	A pressão é mantida constante.	A temperatura varia em função do volume.		<p>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.</p>
Isovolúmica (ou isocórica)	O volume é mantido constante.	A pressão varia em função da temperatura.		<p>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.</p>

■ 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 $R = 8,31 \text{ J/mol K}$.

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 ideais:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow \frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$$

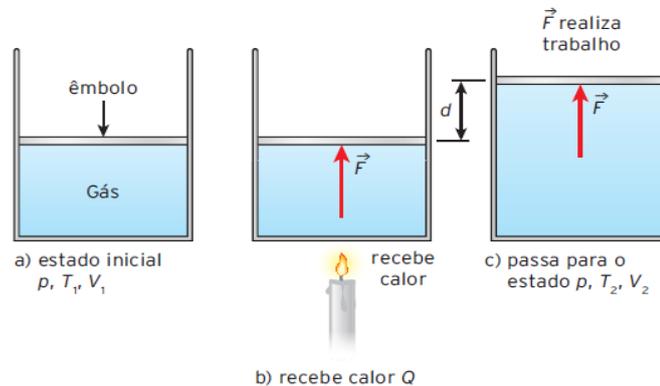
Considerando dois estados distintos desse gás, obtém-se a **lei geral dos gases ideais** que relaciona dois estados quaisquer de uma dada massa de um gás.

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = n \cdot R \quad (\text{estado 1}) \\ \bullet \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = n \cdot R \quad (\text{estado 2}) \end{array} \right\} \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

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.

$$\Delta U = Q - W$$

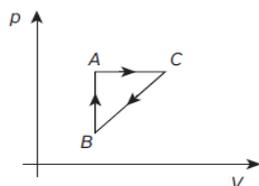
Aplicação da primeira lei às transformações gasosas		
Tipo de transformação	Característica principal	Comportamento do sistema
Isotérmica	Temperatura constante	$\Delta U = 0$ $Q = W$
Isobárica	Pressão constante	$\Delta U > 0$ $Q > W$
Isovolumétrica	Volume constante	$W = 0$ $\Delta U = 0$
Adiabática	Não 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:

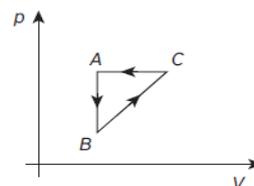
- Na **compressão adiabática**, o sistema recebe trabalho do meio externo, que é integralmente armazenado sob a forma de energia interna. Portanto, o volume diminui, ao passo que a pressão, a energia interna e a temperatura aumentam.
- Na **expansão adiabática**, o sistema realiza trabalho por meio do 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.

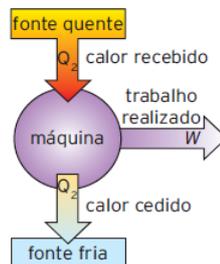
■ Transformações reversíveis e transformações irreversíveis

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:

$$\eta = \frac{\text{energia útil}}{\text{energia total}} = Q_1 - \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \text{ ou } \eta = \frac{W}{Q_1} \quad (0 \leq \eta \leq 1)$$

■ 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
<p>Dois isothermas ligadas por duas adiabáticas.</p>	<p>Transformação 1: O gás se expande isotermicamente ao receber calor da fonte externa.</p> <p>Transformação 2: O gás se expande adiabaticamente, diminuindo a temperatura até T_2.</p> <p>Transformação 3: O gás sofre uma compressão isotérmica do meio exterior, continuando com uma temperatura igual a T_2.</p> <p>Transformação 4: O gás sofre uma compressão adiabática, que aumenta a temperatura até voltar à temperatura inicial T_1.</p>

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

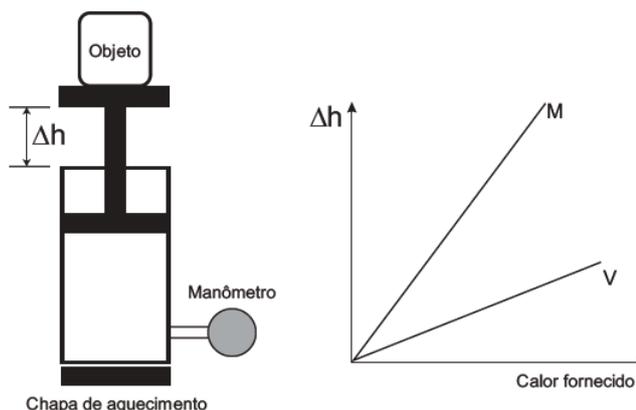
Nenhuma máquina térmica, que opera em ciclo, pode converter toda a energia térmica (calor) recebida da fonte quente em energia mecânica (trabalho).

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. | d) menor energia de ativação. |
| b) menor massa molecular. | e) menor capacidade calorífica. |
| c) maior compressibilidade. | |

Resposta Alternativa (e)

Resolução:

Temos:

ΔV = variação de volume

ΔT = variação de temperatura

$C = Q/\Delta T$ = 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 torneio 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.

- 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) melhora 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 à 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:

$$T_0 = 27 \text{ °C} = 300 \text{ K}$$

$$T_1 = 7 \text{ °C} = 280 \text{ K}$$

$$V = V_0$$

$$n = \frac{n_0}{2}$$

Utilizando a equação de Clapeyron, as variáveis que caracterizam os estados inicial e final são dadas por:

Inicial:

$$P_0 \cdot V_0 = n_0 \cdot R \cdot T_0$$

$$2 \cdot V_0 = n_0 \cdot R \cdot 300$$

$$V_0 = \frac{300 \cdot n_0 \cdot R}{2} \quad (I)$$

Final:

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

$$P \cdot V_0 = \frac{n_0}{2} \cdot R \cdot 280$$

$$P = \frac{280 \cdot \frac{n_0}{2} \cdot R}{V_0} \quad (II)$$

Sendo n o número de mols, substituindo (I) em (II) temos:

$$P = \frac{280 \cdot \frac{n_0 \cdot R}{2}}{V_0} \rightarrow P = \frac{280 \cdot \frac{n_0 \cdot R}{2}}{\frac{300 \cdot n_0 \cdot R}{2}} \rightarrow P = \frac{280}{300} \rightarrow P = 0,93 \text{ atm}$$

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 $V_A = 10 \text{ L}$ e está submetido à pressão $P_A = 5 \text{ atm}$. O gás B possui volume $V_B = 5 \text{ L}$ e está submetido à pressão $P_B = 3 \text{ atm}$. As temperaturas

respectivas são $T_A = 27\text{ }^\circ\text{C}$ e $T_B = 177\text{ }^\circ\text{C}$. Os gases são misturados em um mesmo recipiente de volume $V = 10\text{ L}$, a uma temperatura $T = 127\text{ }^\circ\text{C}$. 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:

- $V_A = 10\text{ L}$
- $V_B = 5\text{ L}$
- $P_A = 5\text{ atm}$
- $P_B = 3\text{ atm}$
- $T = 127\text{ }^\circ\text{C}$
- $T_B = 177\text{ }^\circ\text{C}$
- $V = 10\text{ L}$
- $T_A = 27\text{ }^\circ\text{C}$

Aplicando a equação de Clapeyron para a mistura, temos:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_A \cdot V_A}{T_A} + \frac{P_B \cdot V_B}{T_B}$$

$$\frac{P \cdot 10\text{ L}}{400\text{ }^\circ\text{C}} = \frac{5\text{ atm} \cdot 10\text{ L}}{300\text{ }^\circ\text{C}} + \frac{3\text{ atm} \cdot 5\text{ L}}{450\text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\frac{P \cdot 10\text{ L}}{400\text{ }^\circ\text{C}} = \frac{50\text{ atm} \cdot \text{L}}{300\text{ }^\circ\text{C}} + \frac{15\text{ atm} \cdot \text{L}}{450\text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\frac{P \cdot 10\text{ L}}{400\text{ }^\circ\text{C}} = \frac{150\text{ atm} \cdot \text{L}}{900\text{ }^\circ\text{C}} + \frac{30\text{ atm} \cdot \text{L}}{900\text{ }^\circ\text{C}}$$

$$P = \frac{180\text{ atm} \cdot \text{L}}{900\text{ }^\circ\text{C}} \cdot \frac{400\text{ }^\circ\text{C}}{10\text{ L}}$$

$P = 8\text{ atm}$

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 $U = 20,8 \cdot T$, 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 $W = - \Delta U$, se o gás realizou um trabalho de 1664J, a variação da energia interna será de $\Delta U = - 1664\text{ J}$

De acordo com a relação $U = 20,8 \cdot T$, podemos ter:

$$\Delta U = 20,8 \cdot \Delta T \rightarrow -1664 = 20,8 \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{-1664}{20,8} \rightarrow \Delta T = 80 \text{ K}$$

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. c) mantém-se constante. e) cai à sua quarta parte.
 b) dobra. d) cai pela metade. parte.

Resposta Alternativa (d)

Resolução

Na transformação isotérmica é válida a relação: $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$ (I)

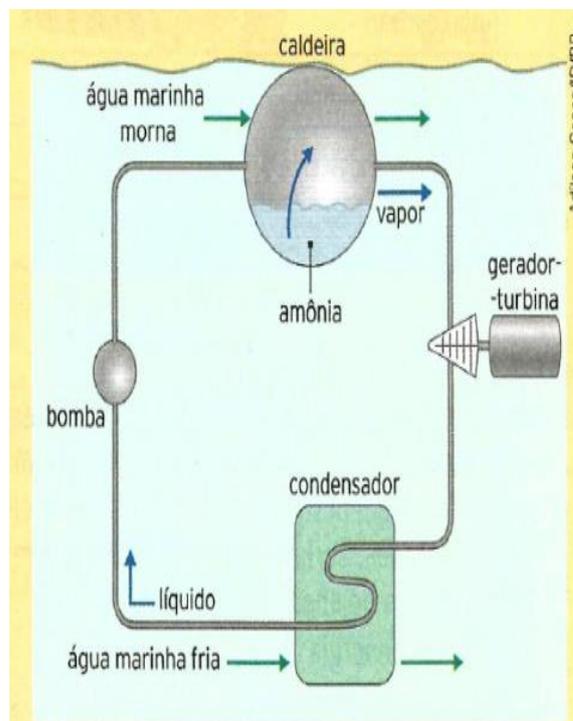
Se a pressão dobrar, temos: $P_2 = 2 \cdot P_1$ (II)

Substituindo (II) em (I), temos:

$$P_1 \cdot V_1 = 2 \cdot P_1 \cdot V_2 \rightarrow V_1 = 2 \cdot V_2 \rightarrow V_2 = \frac{V_1}{2}$$

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

$$T_i = 27\text{ }^\circ\text{C} = 300\text{ K}$$

$$T_f = 4\text{ }^\circ\text{C} = 277\text{ K}$$

O rendimento pode ser obtido por:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_i}$$

$$\eta = 1 - \frac{277\text{ K}}{300\text{ K}}$$

$$\eta = 1 - 0,923$$

$$\eta = 0,077 \rightarrow \eta = 7,7\%$$

Portanto na ordem de 8 %.

13. (Uespi) Com respeito à segunda lei da termodinâmica, assinale a alternativa **incorreta**.

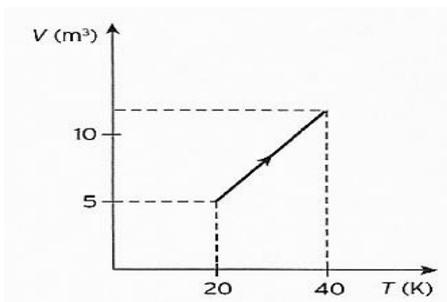
- a) A entropia de um sistema fechado que sofre um processo irreversível sempre aumenta.
- b) A entropia de um sistema fechado que sofre um processo irreversível nunca diminui.
- c) A entropia de um sistema fechado que sofre um processo cíclico pode se manter constante ou aumentar, mas nunca diminuir.
- 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:

$$P = 20 \text{ N/m}^2$$

$$Q = 250 \text{ J}$$

$$V_i = 5 \text{ m}^3$$

$$V_f = 10 \text{ m}^3$$

Em uma transformação isobárica, o trabalho pode ser calculado pela seguinte equação:

$$W = P \cdot \Delta V$$

$$W = 20 \text{ N/m}^2 \cdot (10 \text{ m}^3 - 5 \text{ m}^3)$$

$$W = 20 \cdot 5 \text{ N} \rightarrow W = 100 \text{ J}$$

De acordo com a primeira lei da termodinâmica, a variação da energia interna é obtida da diferença entre o calor e o trabalho:

$$\Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = 250 \text{ J} - 100 \text{ J} \rightarrow \Delta U = 150 \text{ J}$$

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

$$Q = 1000 \text{ cal}$$

$$W = 4186 \text{ J}$$

$$\eta = ?$$

Vamos converter a quantidade de calor de calorias para Joules.

$$1 \text{ cal} \text{ ----- } 4,186 \text{ J}$$

$$1000 \text{ cal} \text{ ----- } Q$$

$$Q = \frac{1000 \text{ cal} \times 4,186 \text{ J}}{1 \text{ cal}}$$

$$Q = 4186 \text{ J.}$$

Agora vamos
calcular seu
rendimento.

$$\eta = \frac{W}{Q}$$
$$\eta = \frac{4186 \text{ J}}{4186 \text{ J}}$$

$$\eta = 1$$

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%

HINRICH, R. A.; KLEINBACH, M. *Energia e meio ambiente*. 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

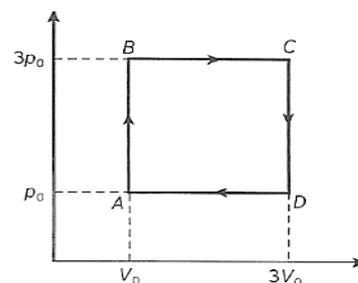
O sistema que mais se beneficiaria é o sistema de células solares, que transforma a energia radiante do Sol em energia elétrica. O aumento nessa eficiência possibilita

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.

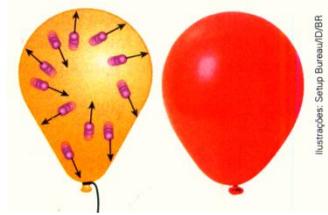
2. A cena retratada ao lado é de uma menina puxando um carrinho com um menino e um cachorro. Durante o deslocamento, a menina se cansa, pois transfere energia para o carrinho. A energia transferida pode ser calculada através de



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 mantêm 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.

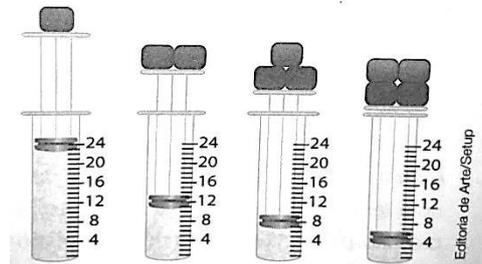


6. Considerando que uma cozinha está isolada, para não haver trocas de calor, esta poderia ser resfriada apenas deixando aberta a porta de uma geladeira? Explique.

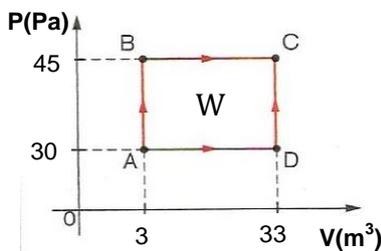
7. Sabendo que processos **reversíveis** são aqueles nos quais o sistema não retorna espontaneamente à situação inicial. Marque um **X** no(os) fenômeno(s) descrito(s) que são **reversível(is)**?

- | | |
|--|------------------------------------|
| a. A quebra de uma garrafa vazia; | d. A queima de um pedaço de lenha; |
| b. A mistura de um coquetel; | e. A perfuração de um pneu; |
| c. O derreter de um cubo de gelo em um copo de refrigerante; | 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 $P \times V$ 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

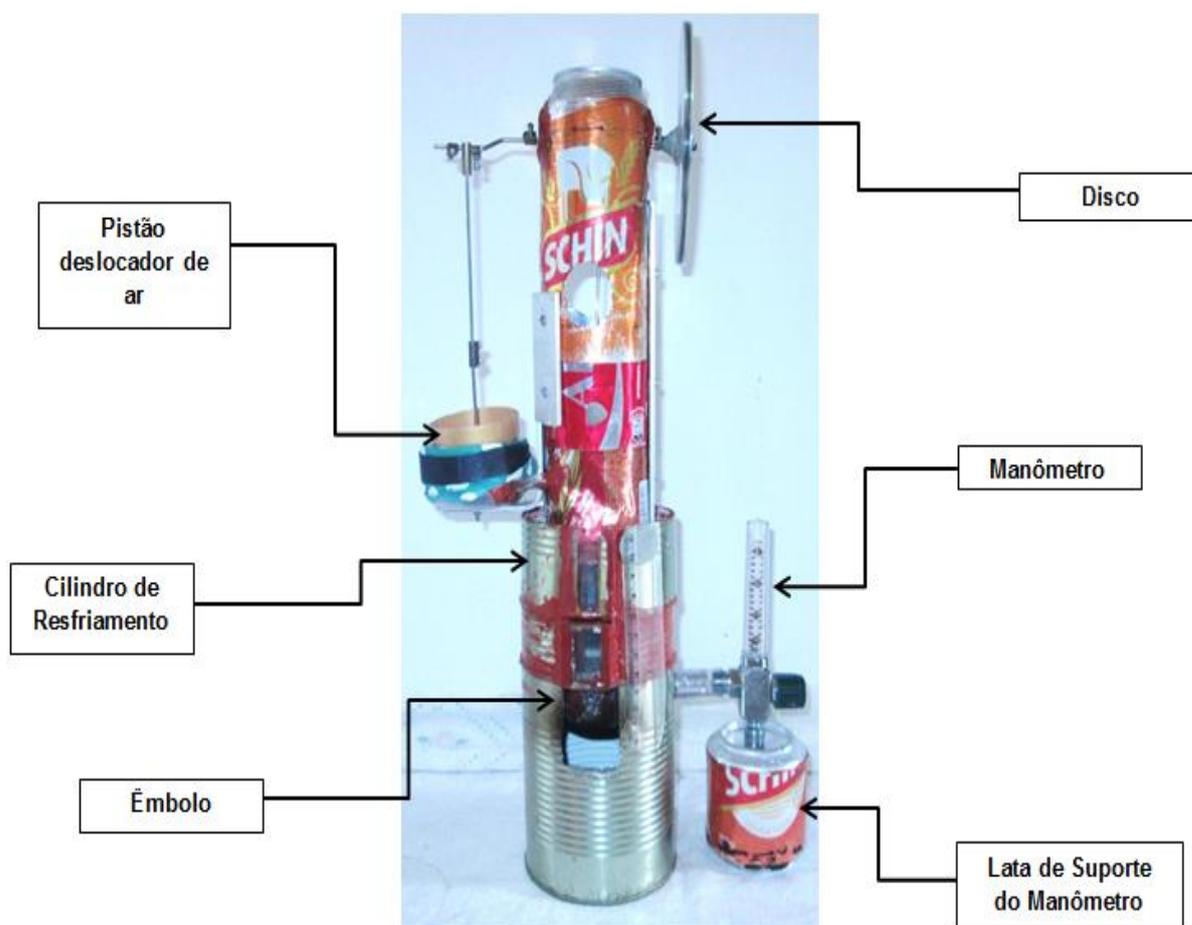
- 1 furadeira;
- 1 broca de 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm e 4 mm;
- 1 serrinha de cortar ferro;
- 1 mini morsa (opcional) servirá para segurar as latas no momento de efetuar os corte;
- 1 chaves de fenda;
- 1 chave Philips;
- 1 alicate de ponta;
- 1 alicate normal;
- 1 martelo;
- 1 régua;
- 1 paquímetro de plástico;
- 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 retroprojektor 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 estilete, 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.

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



Figura 10: Graxa para lubrificação.

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.

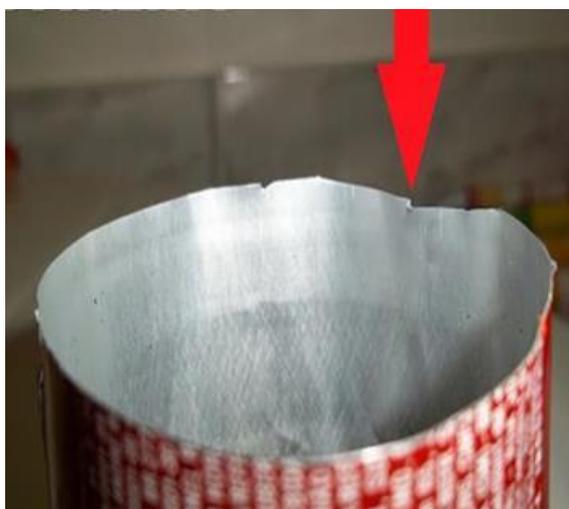
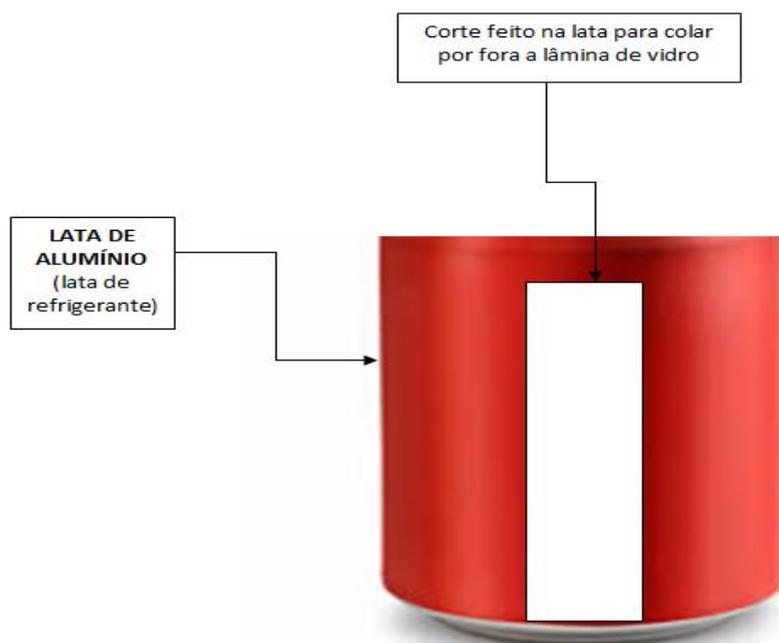


Figura 13: visualização do corte irregular com tesoura.



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 vidraria, 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 retroprojektor (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.



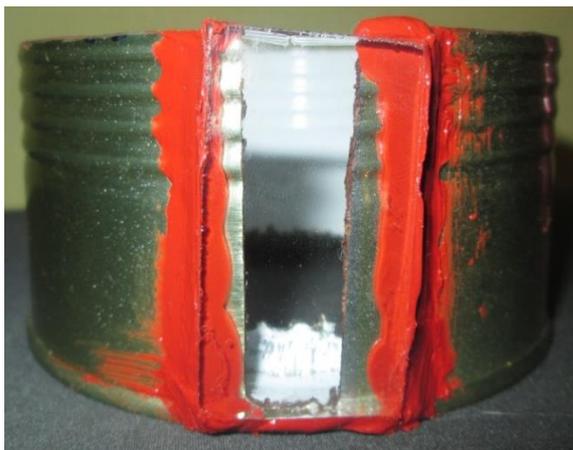
Figura 20: Abertura feita com a furadeira para retirar o fundo do Cilindro de resfriamento.

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 feita 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.

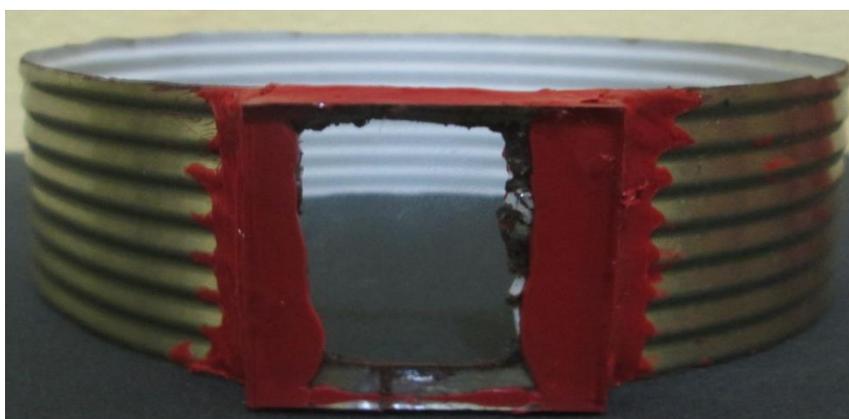


Figura 23: Tira de metal para evitar que o cilindro de resfriamento aqueça já com a lâmina de vidro.

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.

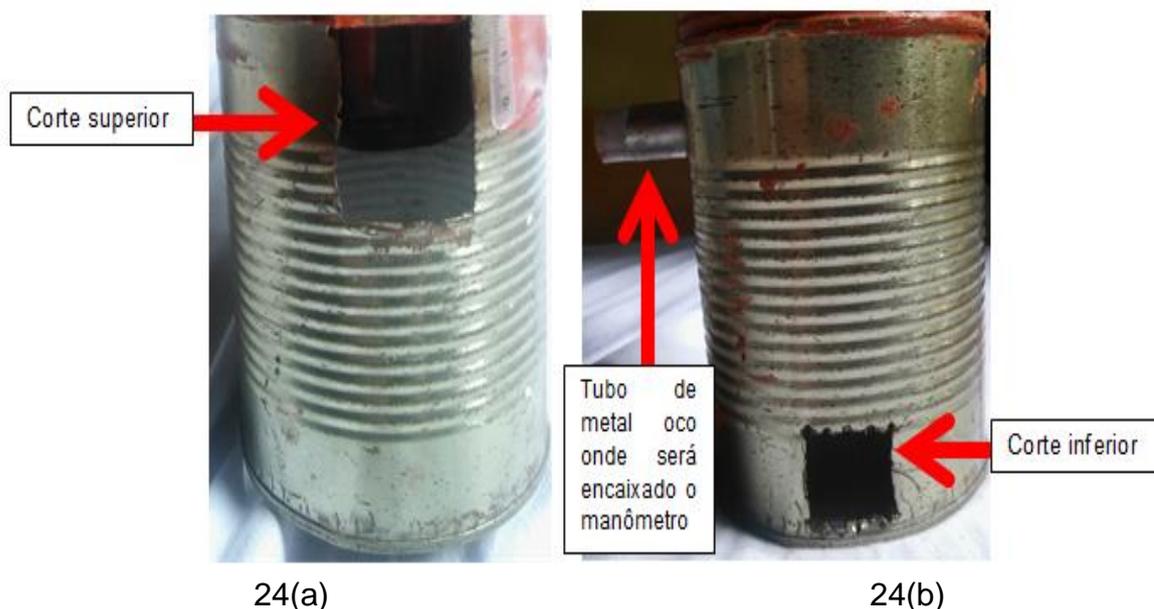


Figura 24: Suporte do motor Stirling com os furos superior frontal (24a) e inferior (24b).

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 câmara 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 câmara 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.

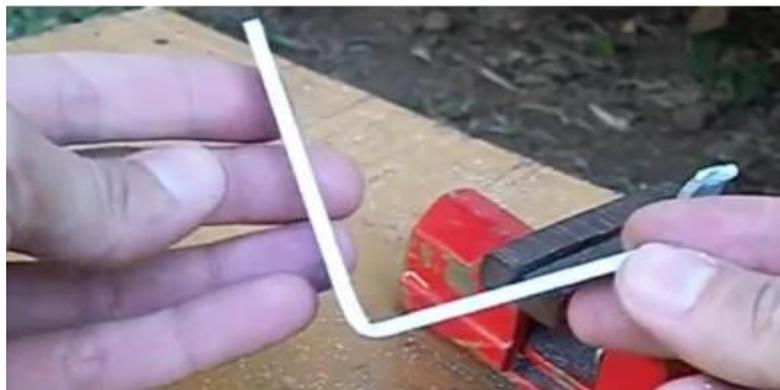
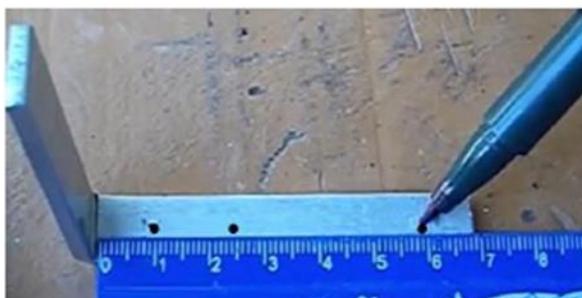


Figura 32: Forma da barra de alumínio dobrada.

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 esta 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:

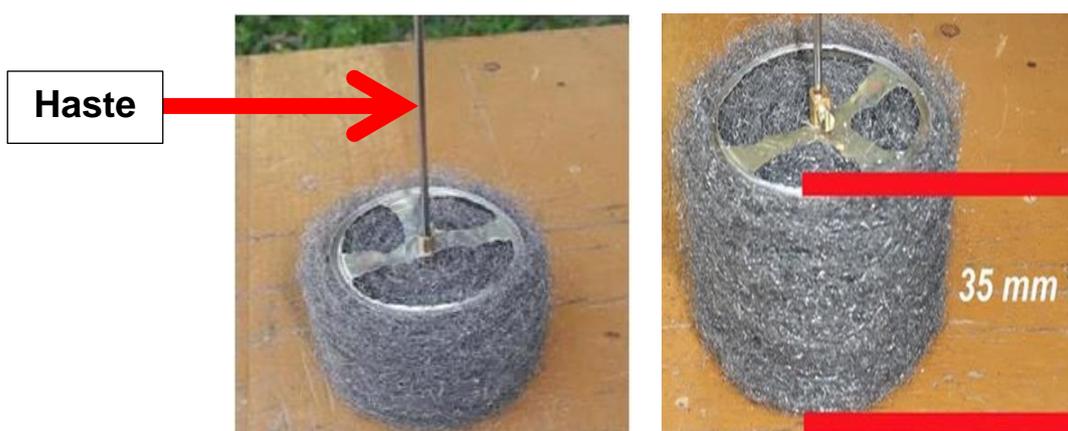


Figura 48: Imagem do pistão deslocador de ar pronto.

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 lâ 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 ficar 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).

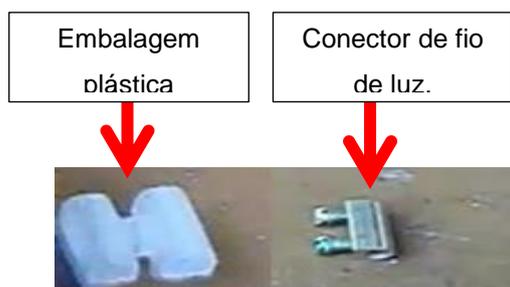


Figura 62: Embalagem e conector de fio de luz.



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.

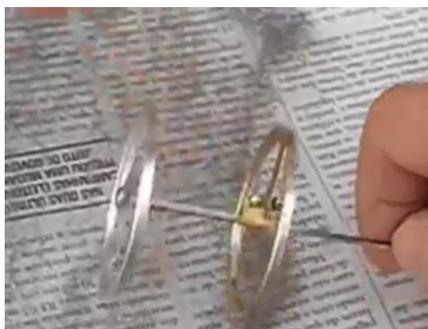


Figura 70: Medindo a lã de aço para retirar uma tira.



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 afiação 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.

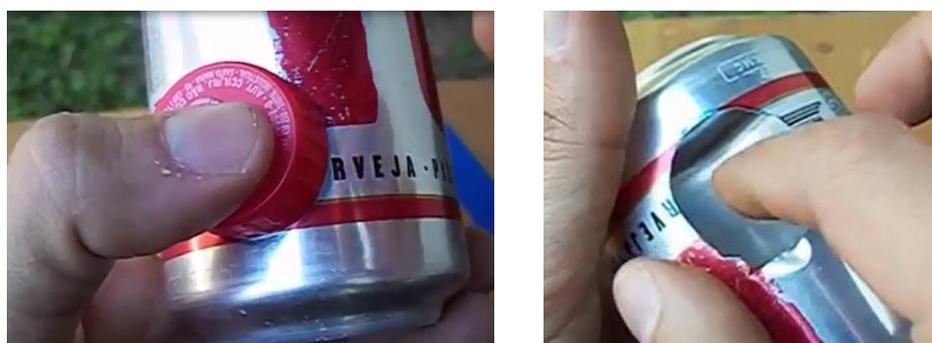


Figura 78: Fazendo o orifício na parte oposta ao brasão.

10 – VIRABREQUIM

Para fazer o virabrequim precisaremos de um raio de bicicleta. Iniciaremos fazendo marcações nele com uma caneta para retroprojeter. 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 90° 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):

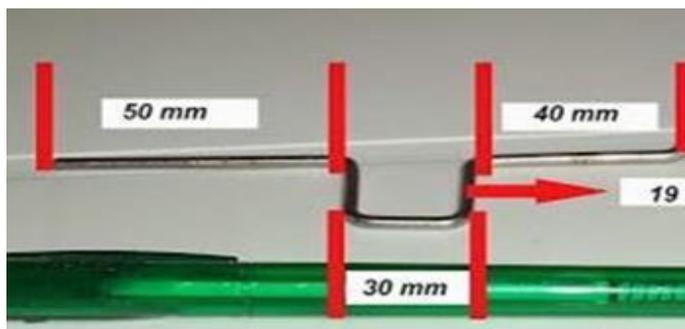


Figura 87: Virabrequim pronto.

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 pegue 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 sentido 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 outros 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 dos 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.

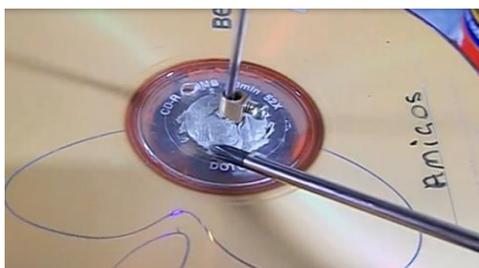


Figura 118: Conector de fio de luz colado com durepox no gravador de CDs/DVDs.



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.

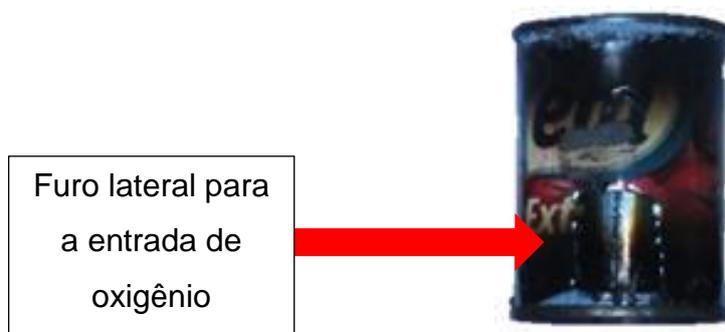


Figura 129: Direcionador da chama da lamparina.

Agora você já tem todas as partes do motor Stirling ele está pronto para o uso.