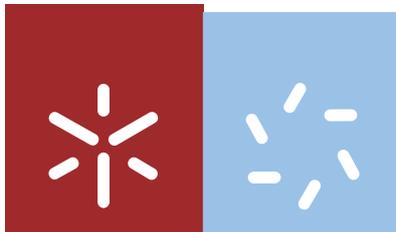


Universidade do Minho
Escola de Ciências

Alice Maria Gonçalves Pinto de Carvalho

Experiências didáticas para o Ensino da Física de 10^o ano escolaridade



Universidade do Minho

Escola de Ciências

Alice Maria Gonçalves Pinto de Carvalho

Experiências didáticas para o Ensino da Física de 10^o ano escolaridade

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Ciências – Formação Contínua de Professores
Área de Especialização em Física e Química

Trabalho realizado sob a orientação da
Doutora Cacilda Maria Lima de Moura
e do
Doutor Luís António Carvalho Gachineiro da Cunha

Novembro de 2012

DECLARAÇÃO

Nome: Alice Maria Gonçalves Pinto de Carvalho

Endereço electrónico: alicedecarvalho@sapo.pt

Telefone: 967087913

Número do Bilhete de Identidade: 7035469

Título dissertação: Experiências didáticas para o Ensino da Física de 10º ano escolaridade

Orientadores: Doutora Cacilda Maria Lima de Moura e Dr. Luís António Carvalho Gachineiro da Cunha.

Ano de conclusão: 2012

Designação do Mestrado: Mestrado em Ciências – Formação Contínua de professores, Área de Especialização em Física e Química

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura:

Agradecimentos

Aos meus pais por me inculcaram o gosto de aprender. À minha mãe que me ensinou, através do seu exemplo, que só se vê bem com o coração e através do seu olhar, permitiu que eu visse um mundo diferente, onde habitam os sonhos. Ao meu pai pelo seu contagiante entusiasmo pelo conhecimento, pela descoberta, rigor e exigência.

Ao meu filho, “força motora” que me permite continuar a sonhar e que me ensinou que a vida é uma sinfonia “*in crescendo*”.

Às minhas irmãs e sobrinhos, Zé e Paulo, pelo incondicional apoio e carinho.

À minha amiga Paula, pela autenticidade, amizade e partilha.

Aos meus orientadores, Dra. Cacilda Moura e Dr. Luís Cunha, pelo apoio prestado, pelo incentivo, pelas sugestões e paciência demonstrada face às minhas indecisões.

Aos alunos com os quais tive o privilégio de aprender, durante o período em que me foi possível exercer a função de cativar e que constantemente me desafiaram a querer saber mais, para poder ensinar melhor.

Por fim, a minha singela homenagem ao professor Rómulo de Carvalho, que continua a ser uma fonte de inspiração:

“...Eu queria agradecer-te, Galileo, a inteligência das coisas que me deste.

Eu, e quantos milhões de homens como eu

a quem tu esclareceste, ia jurar- que dispareste, Galileo!

- e jurava a pés juntos e apostava a cabeça sem a menor hesitação -

que os corpos caem tanto mais depressa quanto mais pesados são...”

António Gedeão, in “Poema para Galileo”

Resumo

O presente trabalho pretende ser um contributo para o ensino experimental da Física do 10.º ano de escolaridade, tendo como tema de fundo a *Energia*.

Procurou-se desenvolver um conjunto de experiências didáticas demonstrativas, diversificadas e contextualizadas historicamente, defendendo-se que, se a educação em ciências pretende que o aluno compreenda o mundo físico, perceba e utilize o conhecimento conceptual e processual que os cientistas desenvolveram para os auxiliar nessa tarefa, uma parte importante é, então, a familiarização com esse mundo.

Não se advoga uma abordagem da ciência como um conjunto de invenções e descobertas individuais, herméticas e fixas, limitando-se a expor as ideias centrais das teorias e suas aplicações imediatas sem considerar o processo subjacente à construção dessas hipóteses, mas a adoção de uma perspectiva dinâmica, podendo ser uma ferramenta útil para a formação de alunos críticos e com capacidade de reflexão.

Não se pretende uma postura passiva por parte dos alunos, mas sim permitir que estes se coloquem no papel de cientistas: discutindo, desenvolvendo hipóteses, projetando novas experiências, prevendo resultados e regressando para novas hipóteses e mais atividades, projetadas por eles. Pretende-se uma aprendizagem ativa, onde as atividades mostrem *o que acontece e por que acontece*.

Cada protótipo está devidamente enquadrado em termos dos conteúdos abordados no 10.º ano do ensino secundário. Apresenta-se o princípio subjacente ao seu funcionamento, bem como sugestões didáticas para a sua aplicação. A descrição das várias etapas de construção dos protótipos das atividades propostas permite a sua concretização pelos professores.

Pretende-se demonstrar que é possível a construção e exploração de montagens experimentais feitas com materiais do dia-a-dia, acessíveis a qualquer Escola, com procedimentos de construção simples.

Abstract

This work wants to be a contribution to the experimental teaching of Physics for the 10th grade, having the theme “Energy” as topic idea.

The work was designed in order to develop a set of didactic experiments, historically defined, assuming that, if the education for sciences wants the student to understand the physical world and to use the conceptual and procedural knowledge that the scientists have developed to assist them in that task, then it is important for them to become familiar with that world. It doesn't defend an approach to science as a group of individual inventions and discoveries, tight and immutable, just exposing the central ideas of theories and their immediate application without considering the underlying process which was the basis for the construction of the same hypothesis – it adopts a dynamic perspective and thus it can be a useful tool for the training of critical and reflective capacities in students.

Students are not expected to be passive; rather, it is anticipated that they act as scientists: discussing, developing hypothesis, projecting new experiments, predicting results and going back to new hypotheses and further activities planned by them. It is intended that students have a proactive learning, where activities show what happens and why it happens.

Each prototype is duly set in the curricula of the 10th grade of Secondary education. The underlying principle of how it works and the didactic suggestions of its application are presented. Furthermore, the description of the several stages of construction of the prototypes allows them to be made real by the teachers. It is meant to demonstrate that it is possible to build and explore experimental sets made with every day materials that any school can purchase and build.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Lista de tabelas	x
Lista de Figuras	xi
Capítulo I	13
1. Introdução	15
1.1. Programa de Física – 10.º ano	17
1.2. Proposta das experiências didáticas demonstrativas	18
Capítulo II	21
1. Enquadramento histórico e construção dos protótipos das experiências didáticas demonstrativas	23
1.1. Experiência 1 - Transferências e transformações de energia	23
1.2. Experiência 2 – Experiência de Joule	26
1.3. Experiência 3 - Radiação	30
1.4. Experiência 4 - Condução e convecção	33
1.4.1 Experiência 4A - Condução térmica	34
1.4.2 Experiência 4 B - Convecção	36
1.5. Experiência 5: Experiência de Tyndall	38
1.6. Experiência 6: A braquistócrona	41
Capítulo III	47
1. Exploração das experiências didáticas	49
1.1 Transferências de energia	50
1.2. Experiência de Joule	54
1.3. Radiação	58
1.4. Condução e convecção	60
1.5. Experiência de Tyndall	66
1.6. A Braquistócrona	70
Capítulo IV	77
1. Conclusões e sugestões	79
Lista de Bibliografia	81
Referências	81
Outra bibliografia consultada	82
Anexos	83
1.1. Construção da Cicloide	83
1.2. Construção da parábola	85

Lista de tabelas

Capítulo I

Tabela 1.1. Listagem das Experiências didáticas demonstrativas propostas	18
--	----

Capítulo II

Tabela 1.5.1. Valores da capacidade térmica mássica e da massa dos materiais utilizados na experiência	41
--	----

Capítulo III

Tabela 1.2. Valores experimentais obtidos	56
---	----

Tabela 1.4 - A. Condutividade térmica de alguns materiais	62
---	----

Tabela 1.5.1. Valores da capacidade térmica mássica, da condutividade térmica e da massa dos materiais utilizados na experiência	69
--	----

Lista de Figuras

Capítulo II

Figura 1.1.1. Esquema original da experiência [4]: transferência de energia através de um dínamo	24
Figura 1.1.2. Esquema de montagem da experiência transferência de energia através de um dínamo	25
Figura 1.2.1. Representação esquemática da experiência de Joule [9]	28
Figura 1.2.2. Etapas da construção do protótipo da experiência de Joule	29
Figura 1.3.1. Esquema adaptado da experiência original [10]: Radiação	31
Figura 1.3.2. Esquema da construção da experiência	32
Figura 1.4.1.1. Esquema adaptado da experiência original [11]: Condução térmica	35
Figura 1.4.1.2 Esquema ilustrativo da construção do Protótipo da experiência	36
Figura 1.4.2.1. Esquema 2 adaptado da experiência original [12]: Convecção	37
Figura 1.4.2.1. Esquema adaptado da experiência original [12]: Convecção	38
Figura 1.5.1. Esquema adaptado da experiência original [13]	39
Figura 1.5.2. Esquema da construção do protótipo da experiência	40
Figura 1.6.1. Esquema original da experiência adaptado de [15]	41
Figura 1.6.2. Esquema da trajetória de uma partícula sob a ação da gravidade	43
Figura 1.6.3. Desenho da cicloide	43
Figura 1.6.4. Procedimento efetuado para encontrar o ponto de interseção da reta com a cicloide	44
Figura 1.6.5. Desenho da parábola	44
Figura 1.6.6. Esboço da braquistócrona	44
Figura 1.6.7. Construção do protótipo da braquistócrona	45
Figura 1.6.8. Dispositivos adaptados no protótipo	45
Figura 1.6.9. Protótipo final	45

Capítulo III

Figura 1.1. Protótipo da experiência	51
Figura 1.2- Protótipo da experiência de Joule	56
Figura 1.3- Protótipo da experiência: Radiação	59
Figura 1.4. A- Protótipo da experiência: Condução	61
Figura 1.4. B – Correntes de convecção	64
Figura 1.4.1. B – Protótipo da experiência: Convecção	64
Figura 1.5 – Ilustração do procedimento A	67
Figura 1.5.1 Ilustração do procedimento B	67
Figura 1.5.2 Ilustração do procedimento C	67
Figura 1.5.3 Ilustração do procedimento D	68
Figura 1.6. Esquema do desafio proposto por Jean Bernoulli	71
Figura 1.6.1 Protótipo construído a partir do desafio proposto por Jean Bernoulli	72

Capítulo I

1. Introdução

O conceito de energia está subentendido na maioria dos conteúdos lecionados em Física e Química, no entanto, é no 7º e no 10º ano de escolaridade que este tema é mais aprofundado.

No 7º ano é feita uma primeira abordagem do tema conferindo-lhe um carácter estruturante e unificador.

- Identificam-se fontes de energia utilizadas na nossa vida explorando os vários recursos energéticos e sensibilizando, os alunos, para a problemática energética.
- Referem-se situações do quotidiano em que ocorrem transferências e transformações de energia.
- Analisam-se montagens experimentais que permitem o reconhecimento que a energia se transfere e transforma (montagem de circuitos eléctricos, modelos de centrais produtoras de energia, entre outras) e situações em que há perda de energia sob a forma de calor interpretando-se o significado físico de conservação e dissipação de energia.

No 10º ano pretende-se a compreensão de fenómenos naturais com base na 1ª e 2ª Lei da Termodinâmica e a constatação de que a energia se conserva em sistemas isolados. De salientar a ênfase colocada, bem patente nas Orientações Metodológicas [1], no ensino experimental das ciências, com a inclusão de atividades experimentais que permitam ao aluno desenvolver capacidades de observação, recolha de dados, resolução de problemas, manipulação de variáveis e, não menos importante, permitem-lhe desenvolver habilidades manipulativas.

Por outro lado, conhecendo a nossa realidade escolar, reconhece-se algumas limitações a este tipo de ensino: escolas mal equipadas, turmas numerosas, equipamentos que não funcionam, a inadequação e abstração de alguns programas face à idade dos alunos; a enorme extensão do programa e a variedade temática excessiva, que obrigam professores e alunos a “correr atrás do tempo”.

Neste trabalho, pretende-se elaborar uma série de experiências didáticas, com carácter demonstrativo, para além das de carácter obrigatório descritas no programa de Física e Química A, 10.º ano [1].

O excerto seguinte, escrito pelo professor Rómulo de Carvalho, num artigo da *Gazeta da Física, de 1947* [2], traduz de uma forma inequívoca, a pedra basilar deste trabalho:

“...Essa conclusão é a resposta à pergunta: qual é a finalidade do ensino liceal? Decerto não será a de fazer técnicos como também não é a de fazer latinistas (o que não impede que se estude Latim), nem a de fazer matemáticos (o que não impede que se estude Matemática), nem a de fazer compositores musicais (o que não impede que se estude solfejo no Canto Coral) ... Quanto aos trabalhos que os alunos devem realizar, o cuidado da escolha tem de ser objeto de estudo apurado. A condição que nos parece essencial é que o trabalho seja útil, que sirva para alguma coisa sob o aspeto formativo. O trabalho não precisa de ter elevado interesse científico nem exigir aparelhagem aparatosa. Ao aluno basta-lhe mexer em coisas comezinhas, medir ou pesar, mas não como mede o alfaiate ou pesa o merceeiro. Tem de criar o espírito de medida, a consciência física do que significa comparar. Parece-nos isto o essencial de tudo. O aluno poderá, na sua vida real, nunca precisar de medir coisa nenhuma. O que precisará sempre, constantemente, dia a dia, é de aplicar a ponderação do seu espírito, o cuidado da sua observação, o sentimento de equilíbrio que resulta do trabalho minucioso que a prática do laboratório lhe ajudará a desenvolver.”

Paradoxalmente, esta ideia, que tem 60 anos, é muito atual. Por mais que se queira, não há ciência a sério sem especialização, mas o valor da ciência só começa quando a ciência se comunica, e permite a sua *apropriação* fora do seu ciclo fechado.

Nos dias de hoje, em que o interesse dos jovens é disputado por variados meios como a televisão, cinema, música, internet, jogos interativos, etc. é urgente cativá-los para a escola como meio mais formal de aprendizagem.

O professor tem poderosos aliados - a divulgação científica é veiculada nos jornais, revistas, televisão, internet, etc... É frequente que os alunos coloquem, na aula, dúvidas sobre aquilo que viram num programa televisivo ou na internet. E porque não aproveitar essas dúvidas para planificar uma atividade experimental que as esclareça?

O ensino das ciências ditas experimentais, tal como o nome indica, reveste-se de um carácter experimental em que o aluno faz parte integrante do processo ensino-aprendizagem. Em alguns casos poder-se-á ir um pouco mais longe, levando os alunos a construir os equipamentos utilizados nas atividades.

1.1. Programa de Física – 10.º ano

O programa curricular de Física e de Química para o Ensino Secundário foi elaborado segundo uma perspetiva CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente). Trata-se de uma perspetiva do ensino das ciências que põe em destaque as suas relações com a tecnologia e com o ambiente, com as suas aplicações na sociedade e com os desenvolvimentos científicos.

É apresentado, de seguida, uma síntese do Programa Curricular de Física do 10.º ano do Ensino Secundário, com o objetivo de fazer uma análise sobre os assuntos abordados, bem como das atividades laboratoriais programadas.

O programa de Física e Química A do 10º ano é constituído por três unidades de Física que a seguir se transcreve [1]:

Unidade inicial: Das Fontes de Energia ao Utilizador

- Situação energética mundial e degradação de energia (fontes de energia estimativas de “consumos” energéticos nas principais atividades humanas; transferências e transformações de energia; degradação de energia; rendimento; uso racional das fontes de energia);
- Conservação de energia (sistema, fronteira e vizinhanças; sistema isolado; energia mecânica; energia interna. temperatura; calor, radiação, trabalho e potência; lei da conservação da energia.);
- Atividade prático-laboratorial AI I – Rendimento no aquecimento

Unidade 1: Do Sol ao aquecimento

- Energia – do Sol para a Terra
Balanço energético da Terra (emissão e absorção de radiação; Lei de Stefan Boltzmann; Deslocamento de Wien; sistema termodinâmico; equilíbrio térmico; Lei zero da Termodinâmica). A radiação solar na produção de energia elétrica – painel fotovoltaico.
- A energia no aquecimento/arrefecimento de sistemas (mecanismos de transferência de calor: condução e convecção; materiais condutores e isoladores do calor; condutividade térmica; 1ª Lei da Termodinâmica; degradação da energia; 2ª Lei da Termodinâmica; rendimento.)

- Quatro atividades laboratoriais (AL1.1 – Absorção e emissão de radiação, AL1.2- Energia elétrica fornecida por um painel fotovoltaico, AL1.3 – Capacidade térmica mássica, AL1.4 - Balanço energético num sistema termodinâmico).

Unidade 2: Energia e Movimento

- Transferências e transformações de energia em sistemas complexos – aproximação ao modelo da partícula material (transferências e transformações de energia em sistemas complexos; sistema mecânico; modelo da partícula material; validade de representação de um sistema pelo respetivo centro de massa; trabalho realizado por forças constantes que atuam num sistema em qualquer direção; a ação das forças dissipativas).
- A energia de sistemas em movimento de translação (teorema da energia cinética; trabalho realizado pelo peso; peso como força conservativa; energia potencial gravítica; ação das forças não conservativas; rendimento. dissipação de energia).
- Três atividades laboratoriais (AL2.1 – Energia cinética ao longo de um plano inclinado, AL2.2 – Bola saltitona, AL2.3 – O atrito e a variação de energia mecânica).

1.2 Proposta das experiências didáticas demonstrativas

Após a análise do programa, e através de pesquisas bibliográficas e pesquisas na internet, propõem-se um conjunto de experiências didáticas demonstrativas a implementar que se encontram listadas na tabela 1.1.

Tabela 1.1. Listagem das Experiências didáticas demonstrativas propostas

EXPERIÊNCIAS DIDÁTICAS DEMONSTRATIVAS PROPOSTAS	
MÓDULO INICIAL - DAS FONTES DE ENERGIA AO UTILIZADOR	
1. Situação energética mundial e degradação de energia	Transferências e transformações de energia
2. Conservação de energia	A experiência de Joule
UNIDADE 1: DO SOL AO AQUECIMENTO	
1.1. Energia – do Sol para a Terra	Radiação
1.2.A energia no aquecimento / arrefecimento de sistemas	Condução e convecção
	Experiência de Tyndall
UNIDADE 2: ENERGIA EM MOVIMENTOS	
2.2. A energia de sistemas em movimento de translação	A Braquistócrona

A proposta destas experiências teve em conta o objetivo primordial deste trabalho, supra-mencionado na introdução. Pretende-se evidenciar que, para fazer ciência ao nível do ensino secundário, não é obrigatório possuir aparelhos dispendiosos e de alta tecnologia. Com alguma imaginação e materiais de fácil aquisição é possível construir equipamentos que permitem a realização destas experiências.

A sua exploração experimental tem em conta alguns dos conteúdos leccionados no 10.^o ano de escolaridade. Assim, na experiência “Transferências e transformação de energia”, a ser explorada no módulo inicial, dá-se ênfase às transferências de energia que ocorrem entre dois corpos e suas implicações, bem como ao facto de que, tanto numa transferência como numa transformação de energia, a energia não se cria nem se destrói, conserva-se e/ou degrada-se.

Com a histórica “ A Experiência de Joule”, salienta-se a equivalência entre trabalho e calor, sendo este o ponto de partida para a construção desta experiência, pretendendo demonstrar esta equivalência e a conversão de energia em várias formas.

Sublinha-se a importância dos processos de transferência de energia entre sistemas a temperaturas diferentes, com as experiências: “Radiação” e “Condução e convecção”.

Com o objetivo de demonstrar que diferentes substâncias e/ou materiais possuem diferente condutividade térmica, recorreu-se à experiência do físico irlandês John Tyndall, “A Experiência de Tyndall”, que evidenciou os papéis da condutividade térmica e da capacidade térmica.

Por último, e embora trate de um problema antigo, a demonstração experimental da “Braquistócrona” ainda surpreende quem a vê pela primeira vez. Ao fazer esta demonstração em sala de aula pretende-se e chamar a atenção para as várias e curiosas propriedades da cicloide e, ao mesmo tempo explorar os conteúdos relacionados com a conservação da energia mecânica, no âmbito do programa do 10.^o ano.

Capítulo II

1. Enquadramento histórico e construção dos protótipos das experiências didáticas demonstrativas

Neste capítulo contextualizam-se historicamente alguns dos conceitos que serão explorados nas experiências didáticas procedendo-se, após isso, à descrição do processo de construção dos respetivos protótipos. Defende-se que as teorias da Física estão intrinsecamente ligadas aos contextos históricos em que surgiram. É com essas teorias e os conceitos que integram que se observam os fenómenos, para deles se extraírem dados, e é com elas que se dá significado a estes dados, atribuindo-lhes o estatuto de factos. Pretende-se demonstrar isso mesmo, abordando as experiências originais feitas com recursos limitados e recorrendo a objetos e situações do dia-a-dia. Os autores das experiências apresentadas neste trabalho, observavam o mundo que os rodeava, teorizavam sobre os problemas e experimentavam para chegar a conclusões cientificamente aceites.

1.1. Experiência 1 - Transferências e transformações de energia

A origem do termo **energia** é a palavra grega “*érgon*”, que significava trabalho. Assim, “*en + érgon*” queria dizer, na Grécia Antiga, "em trabalho", “em atividade”, “em ação”, esta última usada pelo filósofo grego Aristóteles (384 – 322 a.C.). Ainda que a energia seja um conceito familiar, é em primeiro lugar um conceito da Ciência, difícil de definir em toda a sua globalidade e multiformidade.

A história do conceito de energia, sob o ponto de vista experimental, remonta ao séc. XVII, quando surge a questão “Que grandeza mede o efeito de uma força sobre o corpo?”. Esta questão viria a originar duas correntes científicas. Uma, do ponto de vista de Descartes (1596-1649), filósofo e matemático francês, que defendia que essa grandeza deveria ser a variação da quantidade de movimento do corpo; e outra defendida por Leibniz (1646-1716), filósofo e diplomata alemão, que argumentava que esse efeito deveria ser medido pela variação produzida na “força viva” do corpo (produto da massa pelo quadrado da velocidade). A resposta foi dada por um geómetra e general francês em 1826, Poncelet (1788-1867), cuja ideia defendia que a

medida do efeito de uma força não devia ser procurada no corpo sobre o qual atua, mas sim no produto da força pelo deslocamento, a que chamou trabalho da força.

Em 1807, Thomas Young (1773-1829), introduz o termo “energia” para substituir “força viva”, contudo este termo não teve aceitação na época, dado à forte tradição de “força viva”.

Após vários contributos, dos quais se destacam: a do médico alemão Mayer (1814- 1878) que propôs em 1842 a ideia da energia como grandeza convertível de umas formas noutras e a ideia da conservação de energia; e a de Rankine (1807-1872), que define energia, sob um ponto de vista mecânico, como a capacidade de realizar trabalho.

Segundo Feynman (1918-1988), físico norte-americano, é importante compreender que na física atual, não sabemos o que é energia. Considera-se que o conceito de energia não pode exprimir-se mediante uma definição limitada, ao contrário do que acontece com algumas outras grandezas físicas. Devido à sua natureza abstrata, a energia é um conceito mais difícil de compreender que, por exemplo, a massa que estamos acostumados a medir nas balanças. Feynman defendeu que: *“Existe um facto, ou se desejarem, uma lei, que governa todos os fenómenos naturais conhecidos até à data. Não existe nenhuma exceção a esta lei - é exata, tanto quanto sabemos. A lei chama-se Conservação da Energia. Diz que existe uma certa quantidade, a que chamamos energia, que não muda com as alterações ao espaço que a natureza realiza.”* [3]

A experiência didática foi adaptada de um *site* [4], defendendo-se que *...” Muitos investigadores da didática da Física advogam que a conservação e a degradação de energia deverão ser desenvolvidas paralelamente desde o início (Duit,1985). Deste modo, afirmam, são esclarecidas muitas dúvidas e contradições resultantes da confrontação de ideias trazidas pelos alunos da sua vida exterior à escola com as ideias aprendidas na escola.*

Explorando material adequado para realizar transferências de energia, poder-se-á conduzir os alunos à ideia de conservação de energia. Trata-se de uma via evolutiva que conduzirá os alunos ao domínio de um postulado essencial à compreensão da Natureza que, como se verá em uma outra Unidade, está intimamente relacionado com as simetrias reinantes no nosso Universo. Um razoável número de experiências e algumas coincidências históricas levaram os cientistas a induzi-lo. Um razoável número de experiências e bons argumentos levarão os alunos a aceitá-lo. Torna-se fundamental habituar os alunos a raciocinar com base na lei da conservação da energia, já que a experiência mostra que eles fazem muito pouco uso dela nas suas interpretações (Duit,1982).” [5]

A experiência, cujo esquema original consta na figura 1.1.1., foi adaptada, da seguinte forma: utilizou-se um dínamo de uma bicicleta para substituir o motor elétrico; a lâmpada usada foi a que vinha associada ao dínamo, e que acende quando sujeita a uma diferença de potencial de 6 V e intensidade de corrente elétrica de 0,5 A.

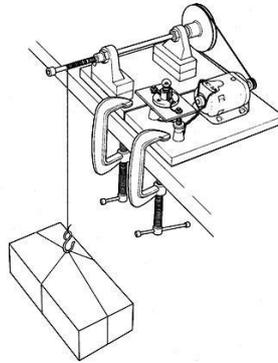


Figura 1.1.1. Esquema original da experiência [4]: transferência de energia através de um dínamo

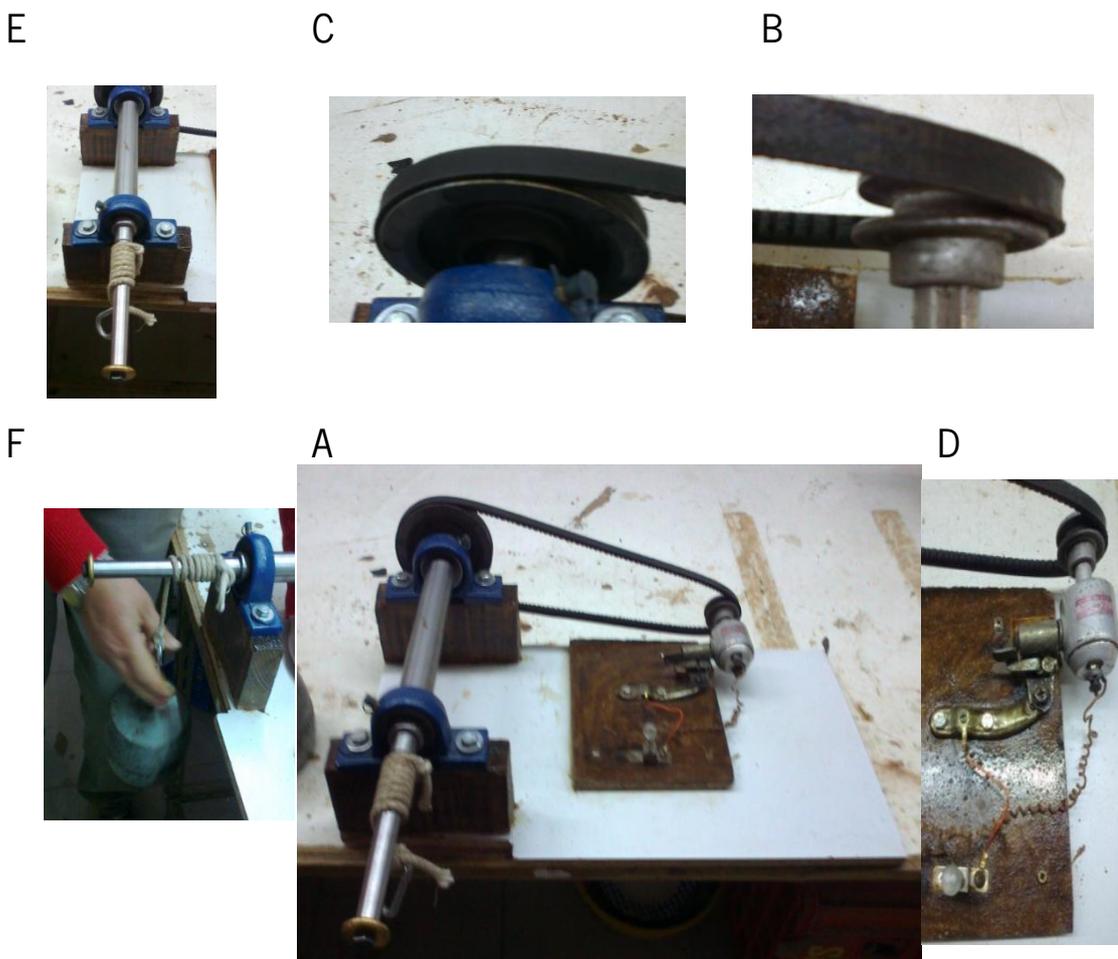


Figura 1.1.2. Esquema de montagem da experiência transferências de energia através de um dínamo.

No dinamo instalou-se uma polia de um motor de uma máquina de lavar roupa (B). A correia utilizada provém de um automóvel e a polia ligada ao veio provém de uma máquina de costura (C). Todos estes elementos foram obtidos de materiais já inutilizados, com exceção do veio que foi feito num torneiro (E).

O veio foi apoiado numas chumaceiras, adquiridas numa loja de ferragens, sustentadas por uns suportes de madeira (E).

Na parte exterior do veio colocou-se um fio, com a medida 65,5 cm. Na extremidade do fio aplicou-se um gancho, para pendurar as massas (F). Para a base utilizou-se parte de uma cobertura de uma máquina de lavar.

1.2. Experiência 2 – Experiência de Joule

A experiência de Joule é transcrita dos documentos da época e explorada à luz dos conhecimentos atuais.

Em 1845, Joule enviou uma carta ao editor da revista *Philosophical Magazine* em que descrevia a sua experiência e divulgava os valores obtidos para a equivalência mecânica do calor.

“A roda movia-se com grande resistência na cuba de água pelo que os pesos (cada um de 4lbs) caíam a uma velocidade muito pequena, 1 pé por segundo. Estes pesos encontravam-se a uma altura de 12 jardas e, conseqüentemente quando os pesos atingiam o solo era necessário içá-los novamente de forma a manter o movimento da roda. Depois de esta operação ser repetida 16 vezes o aumento de temperatura da água era registado por um termómetro bastante sensível. Com vista a eliminar os efeitos de aquecimento ou arrefecimento provenientes da atmosfera esta experiência foi repetida 9 vezes. [...] Posso, então, concluir que a existência de uma relação de equivalência entre o calor e as formas comuns de energia está demonstrada; e assumir 817 lbs¹, média das três classes de experiências, como equivalente, até que experiências mais precisas sejam feitas.” [6]

Em 1850, Joule apresentou aos membros da Royal Society uma nova monografia onde revia todo o seu anterior trabalho, descrevia pormenorizadamente o equipamento utilizado e apresentava o registo de todas as medidas efetuadas bem como a sua análise estatística. O equipamento experimental, desenvolvido por Joule consistia numa roda de pás colocada

¹ 1 libra = 0,4536 kg ; 1 pé = 30,48 cm ; $v = 0,3048 \text{ m s}^{-1}$; 1 jarda = 0,91440 m

horizontalmente numa cuba que continha água. Esta roda era colocada em movimento através de um molinete ao qual se ligavam duas massas.

A queda das massas arrastava então as pás, por meio do molinete, e a fricção gerada pelo movimento das pás na água aquecia-a.

A cuba (calorímetro) era um vaso cilíndrico de cobre contendo no seu interior 4 placas verticais fixas em intervalos de 90° e um agitador de latão com 8 pás presas a um eixo vertical (roda de pás) isolado por um revestimento de madeira capaz de minimizar as perdas de calor por condução.

As massas, de 29 lbs ou 10 lbs, eram suspensas por cordas num eixo ligado a uma roldana. As roldanas, ao moverem-se, faziam girar o eixo vertical da roda de pás. Depois de caírem de uma altura de cerca de 5 pés, eram recolocadas no eixo e caíam novamente. Este processo era repetido vinte vezes.

Entre o equipamento e o experimentador existia uma placa de madeira de forma a anular o calor irradiado pelo experimentador. A temperatura do laboratório era registada antes, durante e depois da experiência. Desta forma, Joule determinava se o aumento de temperatura do banho teria como causa apenas a fricção ou também a radiação proveniente da atmosfera envolvente.

O termómetro utilizado era bastante sensível detetando diferenças de (1/100) °F (uma diferença de 1,8 °F equivale à de 1°C e 1/100 °F equivale aproximadamente a 0,0055 °C). A precisão das temperaturas registadas é duvidosa tendo em atenção as condições em que a experiência foi realizada. A fim de determinar com precisão a quantidade de calor envolvida na experiência, Joule determinou o calor específico do cobre e do latão da roda de pás. Relatou, ainda, uma série de experiências semelhantes às efetuadas anteriormente mas para as quais utilizou jogos diferentes de palhetas para a roda de pás: um de latão, um de ferro forjado e um último de uma liga de ferro e carbono. Os dois últimos jogos foram mergulhados também em mercúrio. Joule demonstrou, assim, que a relação entre trabalho e calor não dependia dos materiais nem dos processos utilizados.

“Eu concluo, tendo em conta os resultados experimentais relatados neste documento, 1º que a quantidade de calor produzida pela fricção dos corpos, no estado sólido ou líquido, é sempre proporcional à quantidade de força despendida, 2º que a quantidade de calor capaz de aumentar, em 1°F, a temperatura de 1 libra de água (pesada em vácuo entre 50 °C e 60 °C)

é equivalente à energia produzida por uma força mecânica responsável pela queda de 772 lbs de uma altura de 1 pé.” [6]

Atualmente o valor aceite é 778 lbs-pé o que atesta o extremo rigor das experiências de Joule. O valor encontrado por Joule, 772 lbs-pé, corresponde a um fator de conversão $1\text{ cal} = 4,150\text{ J}$ o que representa um erro inferior a 1% (0,72%) relativamente ao valor atualmente aceite, $1\text{ cal} = 4,18\text{ J}$.

A reprodução da “Experiência de Joule” em sala de aula não é fácil atendendo às rigorosas condicionantes experimentais. A estrutura do calorímetro é complexa e todo o equipamento ocupa um grande espaço visto que, para se obter uma variação de temperatura mensurável, a altura de queda dos corpos tem de ser, no mínimo, cerca de 11 m e a queda tem de ser repetida várias vezes. O termómetro a utilizar tem de ter uma grande sensibilidade pois a variação de temperatura sofrida é pequena. Joule declarou ter utilizado um termómetro com uma sensibilidade de aproximadamente $0,0055\text{ }^{\circ}\text{C}$. A experiência deve ser repetida várias vezes para que os resultados sejam fiáveis.

Esta experiência é de grande interesse didático - demonstra a conversão de energia nas suas várias formas e estabelece a relação entre trabalho e calor - e enquadra no programa do 10.º ano. Considera-se que conduz a uma atividade que mostra “*por que acontece*”, pois segundo Woolnough e Allsop (1985) “*...atividades laboratoriais mostram o que acontece mas não mostram por que acontece. Por isso, os alunos podem não esquecer o que viram mas isso não significa que compreendam a explicação do que observaram.*” [7] É também possível a realização, em sala de aula, de outras atividades muito simples com material de uso comum que demonstrem qualitativamente esta equivalência, como por exemplo, deixando cair granalha de chumbo de uma altura h . [8]. Para a construção do protótipo da “Experiência de Joule”, recorreu-se à representação esquemática conforme está ilustrado na figura 1.2.1. [9]

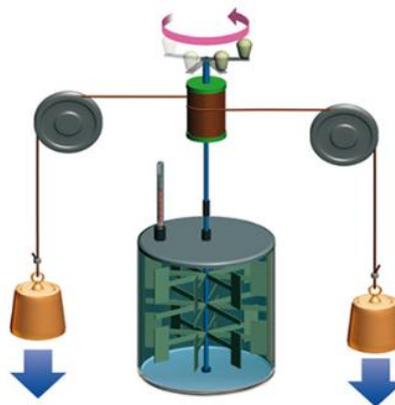


Figura 1.2.1. Representação esquemática da experiência de Joule [9]

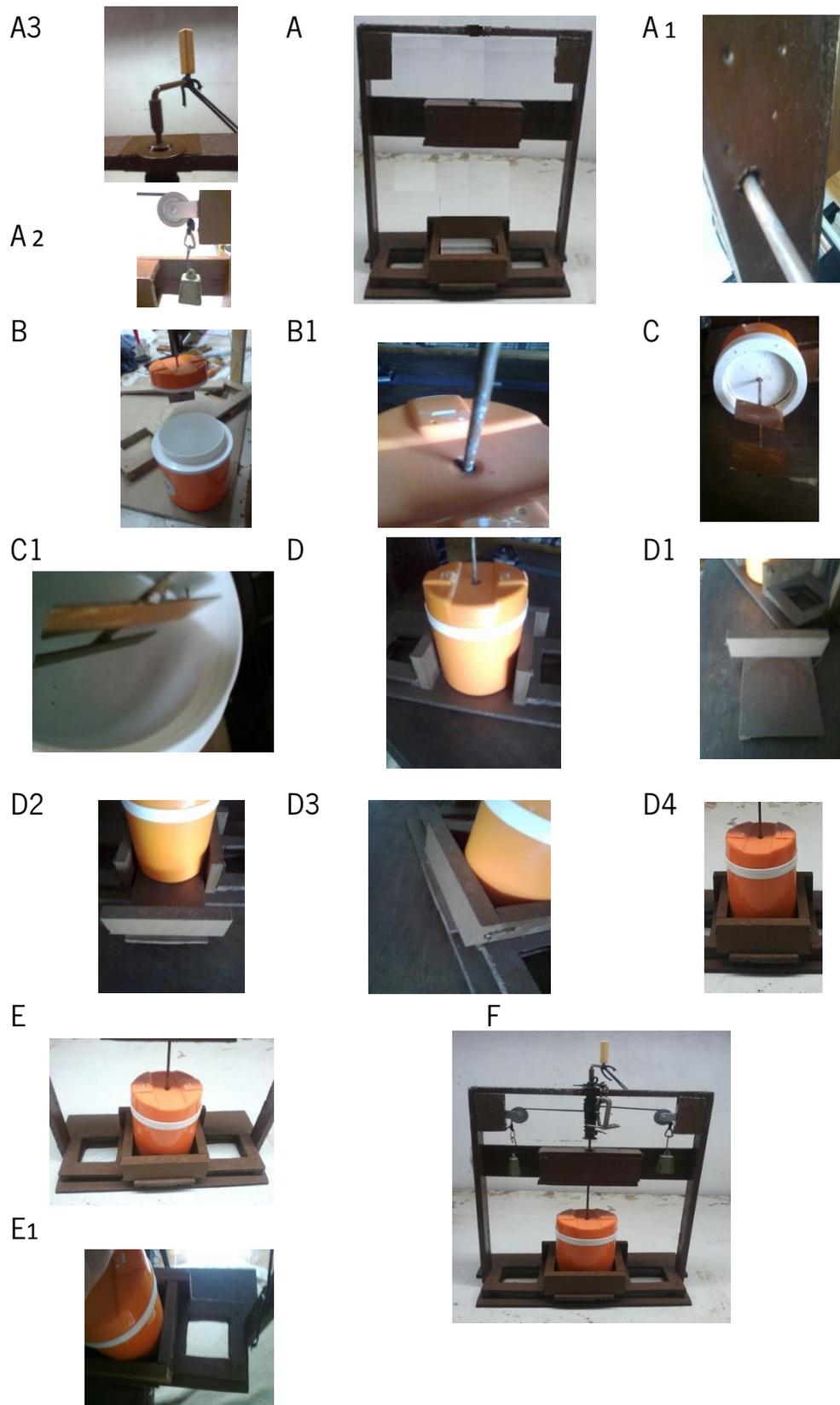


Figura 1.2.2. Etapas da construção do protótipo da experiência de Joule

Para fixar as roldanas (A2) e a alavanca (A3), construiu-se um suporte em madeira (A). Para que o eixo rodasse sem se deslocar, utilizaram-se duas varetas de diferentes diâmetros, que depois de encaixadas, foram soldadas (A1). Furou-se a tampa de uma garrafa térmica, que serve de calorímetro (B e B1). Colocou-se a vareta e na extremidade desta soldaram-se as pás (C e C1). O material usado para as pás, foi retirado de uma chapa metálica de um revestimento de um utensílio que já não tinha uso. Todo este dispositivo foi fixo entre dois suportes de madeira (D). A imagem D1 representa uma base em madeira para colocar na parte inferior permitindo assim retirar facilmente o calorímetro. Em D3 vê-se um gancho para prender o suporte e garantir que o calorímetro não se mova (D4). Para as massas caírem de uma altura considerável, o suporte de madeira do calorímetro (E) tem uma abertura em cada um dos lados (E1). A maior dificuldade surgiu na escolha do termómetro, pois deve ter uma grande sensibilidade. Uma das possibilidades equacionadas foi a de usar um sensor de temperatura, ou um termopar. O protótipo final está representado na imagem F.

1.3. Experiência 3 - Radiação

Muito embora, em 1679, o físico francês Edmé Mariotte (1629-1684), tenha observado que a energia de uma lareira a carvão era diferente da energia do sol, as primeiras experiências para estudar a transmissão da energia associada à radiação através do vácuo, bem como o estudo das suas propriedades ondulatórias foram realizadas no começo do século XIX.

Em 1800, o astrónomo alemão Sir William Herschel (1738-1822) ao determinar com um termómetro enegrecido, as temperaturas das cores do espectro solar, observou que a temperatura mais alta se encontrava além do vermelho, observação essa que levou à hipótese dos raios infravermelhos. Observou ainda a existência de “raios caloríferos” que eram refletidos e refratados como se fossem raios luminosos.

Por sua vez Rumford, em 1804, fez, também uma série de experiências sobre radiação solar. Observou que a temperatura de um corpo enegrecido se relacionava com a intensidade de radiação solar, e que as superfícies que irradiam energia de forma menos intensa, são aquelas que a refletem mais intensamente.

Também em 1804, o físico e matemático escocês Sir John Leslie (1766 – 1832), fez experiências relacionando a radiação e com a temperatura e fez observações semelhantes às de Rumford.

Paralelamente ao problema de se conhecer a natureza da radiação térmica, os físicos procuraram também medi-la. Para isso, uma propriedade importante a considerar era a relação entre temperatura e cor de um corpo.

Em 1860, o físico alemão Robert Kirchhoff (1824-1887), introduziu o conceito de corpo negro, definindo-o como um corpo que absorve toda a radiação que nele incide.

Em 1874, o físico austríaco, Josef Stefan (1835-1893), ao estudar a velocidade com que os corpos arrefecem, através da medida das áreas sob as curvas do espectro da radiação térmica, chegou empiricamente à seguinte lei: $R \propto T^4$, onde **R** representa a intensidade total da radiação (energia por unidade de área e por unidade de tempo emitida por um corpo a uma dada temperatura absoluta **T**).

Mais tarde o físico austríaco Boltzman (1844-1906), demonstrou matematicamente a lei de Stefan, encontrando o coeficiente de proporcionalidade entre **R** e T^4 , conhecido desde então como a constante de Stefan – Boltzman: σ .

O sucesso obtido por Boltzmann levou o físico alemão Franz Wien (1864- 1928) a estudar o espectro da radiação térmica dos corpos, isto é, a função $I(\lambda, T)$, usando também a segunda lei da termodinâmica e a teoria de Maxwell.

Assim, em 1893, Wien demonstrou matematicamente o fato experimental de que os máximos das curvas do espectro da radiação térmica se deslocam à medida que a temperatura aumenta, segundo a lei: $T \lambda_{\max} = \text{cte}$, conhecida desde então como lei do deslocamento de Wien.

Para estudar alguns aspectos relacionados com a radiação térmica, seleccionou-se uma experiência [10], cujo esquema original se representa na figura 1.3.1:

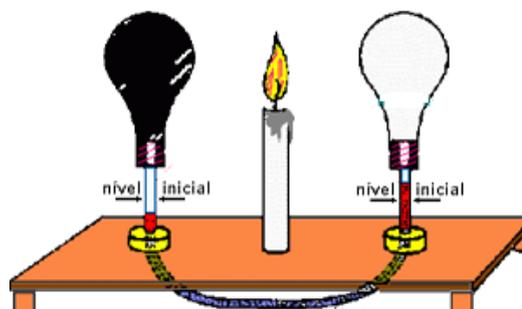


Figura 1.3.1. Esquema adaptado da experiência original [10]: Radiação

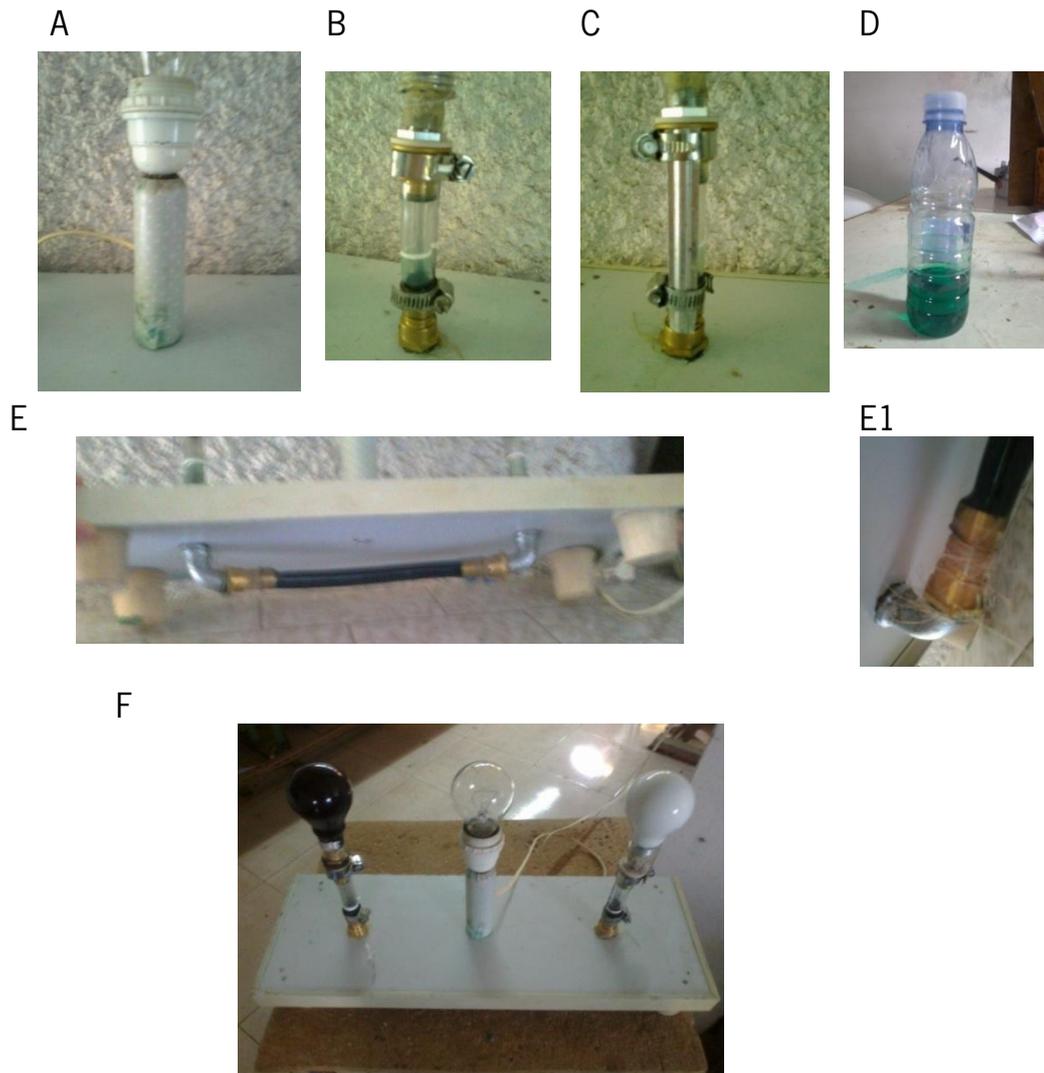


Figura 1.3.2. Esquema da construção da experiência.

Para construir o protótipo desta experiência, usou-se como base a parte superior de uma máquina de lavar.

1. Colocou-se o suporte de um candeeiro antigo (A), com uma lâmpada (100 W). Na base, e à mesma distância da lâmpada, fixou-se com um encaixe de metal, tubos de plástico (B) em cada um dos lados da lâmpada. Para impedir que os referidos tubos de plásticos descaíssem, colocou-se um pequeno suporte de metal (C). Para fixar as lâmpadas utilizou-se um mecanismo de metal vulgarmente designado por “ ligação macho e fêmea” que foi colocado na parte superior dos tubos de plástico. Optou-se por este tipo de mecanismo pois sempre que seja necessário

colocar a água, neste caso com corante verde (D), ou nivelar basta desenrolar uma das ligações.

2. Pintaram-se duas lâmpadas, uma com tinta preta e outra com tinta branca, às quais se retirou a parte interior. Estas foram fixadas na parte superior dos tubos, referidos em 1.
3. Encaixou-se, sob a base, uma mangueira plástica, com a ajuda de adaptadores em curva (E e E₁) para unir aos tubos de plástico sobre a base.
4. Com o auxílio de fita-cola branca, marcou-se o nível inicial.
5. Protótipo Final (F).

1.4. Experiência 4 - Condução e convecção

Os atomistas gregos imaginaram o calor como uma substância de estrutura atômica, com algum peso, que se difundia através dos corpos. Aparece a ideia de calor como um fluido, ou seja, matéria sem peso capaz de entrar e sair através dos poros mais pequenos.

No século XVII, físicos, como Francis Bacon (1564-1642), Galileu (1564-1642) e Boyle (1627 - 1691), não aceitando a ideia do calor como um fluido, admitiram que o calor se poderia interpretar como uma manifestação do movimento das partículas dos corpos aquecidos.

Joseph Black (1728-1799), distinguiu calor de temperatura, desenvolveu os métodos calorimétricos e introduziu os conceitos de capacidade térmica, capacidade térmica mássica e de calor de transformação.

Lavoisier (1743-1794), em 1787 chamou ao fluido, calórico, tendo-o incluído na lista dos elementos químicos. Introduziu a ideia de que os fenómenos caloríficos podiam ser explicados por intermédio de um fluido que era capaz de penetrar em todo o espaço e fluir através das substâncias, constituindo então a *teoria do calórico*.

Por sua vez as experiências de Benjamim Thomson (Conde de Rumford), (1753- 1814), abanaram a credibilidade no modelo do calórico. Este cientista notou, com grande espanto e curiosidade que, quando os operários perfuravam as peças de bronze que seriam os futuros canhões, tinham de as introduzir em tanques de água fria, pois o aquecimento que as brocas provocavam no bronze era tão grande que a água fervia. Reuniu então grandes personalidades para divulgar a sua fantástica descoberta.

De facto, tinha sido possível ferver água, através de fricção (o que, até àquela altura, só se conseguia por *fornecimento do calórico*). Outras experiências vieram ainda revelar que a fonte de calor gerado em certas situações parecia ser inextinguível. O Conde de Rumford retoma, assim, o pensamento de alguns outros cientistas, que também tinham especulado sobre a imponderabilidade do calórico.

Porém, corria o ano de 1798 e quase toda a Europa estava satisfeita com este modelo – a palavra energia ainda não tinha lugar no vocabulário científico. O conde de Rumford, estudou ainda a condutibilidade térmica em corpos não metálicos, demonstrando que a água e outros líquidos eram maus condutores de calor, e que a transmissão através deles era devido à convecção.

Basicamente, só no final do século XVIII, os físicos perceberam que a transmissão do calor nos sólidos se fazia por condução. A condutibilidade térmica dos metais foi estudada pelo médico e fisiologista holandês Jan Ingenhousz (1730- 1799).

Uma das primeiras leis referentes à condução do calor em barras metálicas foi apresentada pelo físico francês Jean - Baptiste Biot (1774 - 1862). Contudo a descrição matemática desse fenómeno deve-se ao matemático francês Jean-Baptiste-Joseph, Barão Fourier (1768-1830), tendo chegado à célebre equação:

$$\Delta T + \left(\frac{1}{k}\right) \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right) = 0$$

onde T é a temperatura do material, k a condutividade térmica e Δ é o operador laplaciano. Pela primeira vez, um fenómeno físico foi estudado no âmbito matemático, através de uma equação diferencial.

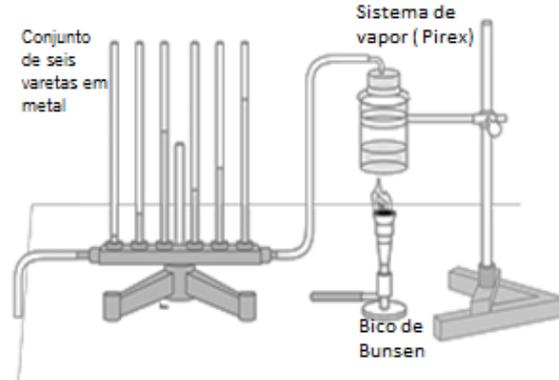
1.4.1 Experiência 4A - Condução térmica

O esquema da experiência escolhida para ilustrar o conceito físico da condutividade térmica apresenta-se na figura 1.4.1.1.

Na figura 1.4.1.2, está representado alguns dos passos da construção do protótipo criado nesta experiência.

O vapor passa através de um tubo de metal ligado a seis varetas em metal: chumbo, estanho, prata alemã, bronze, alumínio e cobre. Cada vareta conduz o calor a uma taxa diferente. A tinta sensível à temperatura, em cada vareta, muda de cor de amarelo para vermelho.

**Condutividade
(W/ m. K)**

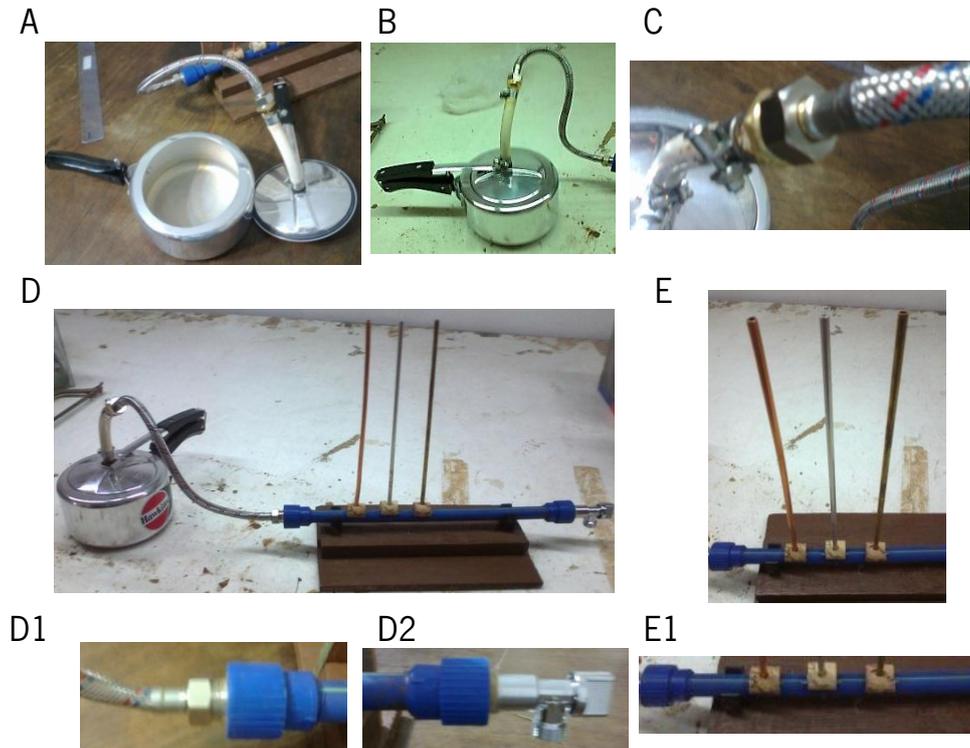


Chumbo	35.3
Estanho	66.8
Prata	429
Bronze	60
Alumínio	235
Cobre	401
Níquel	91
Zinco	120

Chumbo
Estanho
Prata alemã
Bronze
Alumínio
Cobre

Nota: "Prata alemã" = 46% Cu, 34% Zn e 20% Ni

Figura 1.4.1.1. Esquema adaptado da experiência original [11]: Condução térmica



F



F1



G



Figura 1.4.1.2 Esquema ilustrativo da construção do Protótipo da experiência

Dada a dificuldade de encontrar tinta sensível à temperatura, bem como encontrar hastes em chumbo, estanho e bronze foi necessário fazer uma adaptação ao esquema original (ver figura 1.4.1.1). Assim, utilizaram-se apenas hastes em cobre, alumínio e latão. Para substituir o sistema de vapor, usou-se uma panela de pressão (A) adaptando-se no orifício de saída de vapor, um tubo usado para canalizações de gás (B). Na extremidade deste tubo colocou-se um “canhão” de latão (C) onde se adaptou uma mangueira de instalação de água quente, à qual se uniu um tubo usado para a instalação de água quente, D_1 : adaptador para a entrada do vapor e D_2 : torneira para saída de vapor, se necessário. As hastes de latão, alumínio e de cobre foram fixadas no tubo (E), através de uns orifícios feitos no mesmo, e vedados com cola resistente a temperaturas altas e pedaços de cortiça para melhor isolamento (E_1). Foi construído um suporte em madeira (F) para evitar que as hastes se movam, em F_1 visualiza-se a parte superior do suporte, com mais orifícios para a eventualidade de posteriormente, se adaptar mais hastes.

1.4.2 Experiência 4 B - Convecção

Uma vez mais o esquema original da experiência para ilustrar o conceito de convecção foi alterado. Encontrar um dispositivo como está representado na figura 2.4.2.1., não foi possível.

Convecção

C+20+0

Aquecer água num tubo em forma de "O" adicionando um corante

Encher o tubo em "O" com água. O bico de Bunsen provoca uma corrente de convecção. O corante alimentar é adicionado no topo, e a corrente de convecção torna-se visível.

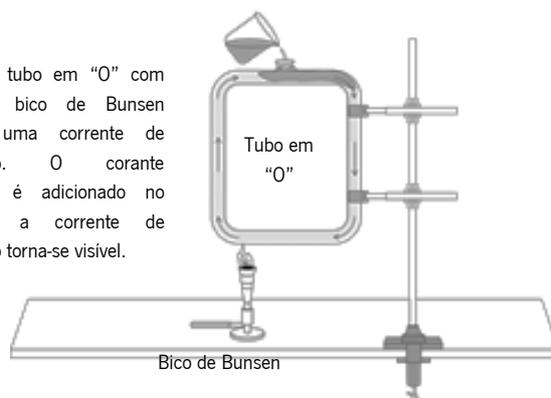


Figura 1.4.2.1. Esquema 2 adaptado da experiência original [12]: Convecção

As alterações foram as seguintes:

- A-** A forma não é em quadrado mas sim circular, pois recorreu-se a uma mangueira transparente, flexível, para poder encaixar na base em vidro.
- B-** Recorreu-se, para a parte que está em contato com a fonte de aquecimento (lâmparina de álcool), a um tubo em vidro.

Nas figuras seguintes, demonstra-se o processo de construção do protótipo.



Abertura



Ligações entre o tubo de vidro e a mangueira



Protótipo sem suporte



Protótipo com suporte em madeira



Vista superior: tubos em metal usados para manter o protótipo nivelado



Base em madeira para colocar no protótipo, com a finalidade de elevar ligeiramente a lamparina de álcool



Suporte em madeira visto da parte traseira



Figura 1.4.2.1. Esquema adaptado da experiência original [12]: Convecção

1.5. Experiência 5: Experiência de Tyndall

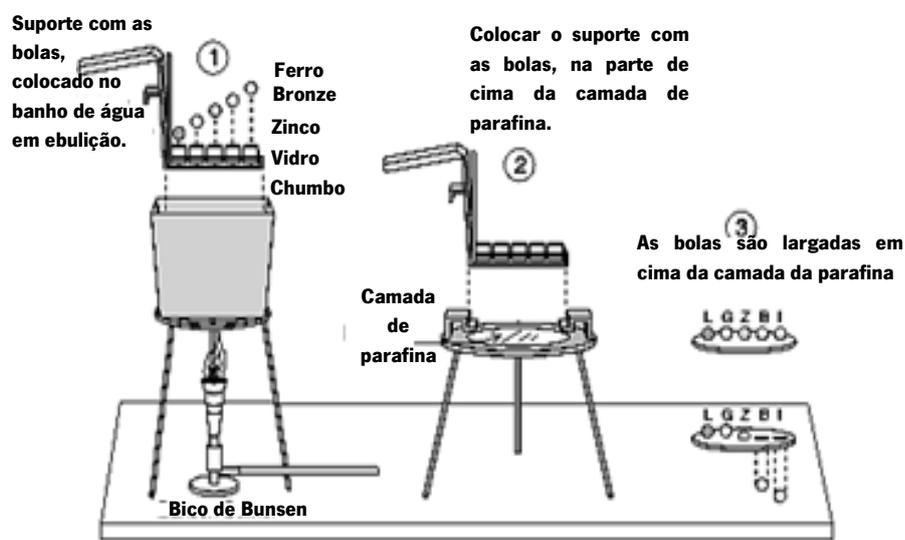
O físico irlandês John Tyndall (1820- 1893), depois de ter exercido a profissão de engenheiro, dedicou -se ao estudo da filosofia natural, tendo sido professor na Royal Institution (1853-1887). Um dos trabalhos mais conhecidos de John Tyndall, efetuado entre 1850 e 1860, foi o estudo da ação da radiação infravermelha sobre os constituintes da atmosfera, mais concretamente a observação da capacidade de absorção de radiação infravermelha por parte de cada um dos constituintes do ar. Identificou o fenómeno da difusão da luz por parte das partículas suspensas numa solução coloidal (fenómeno de Tyndall). Em 1871 descobriu o fenómeno da fusão sob pressão seguida de solidificação, explicando assim o movimento dos glaciares. São conhecidos vários outros trabalhos de Tyndall.

Um deles, foi a realização de uma experiência que evidenciou os papéis da condutividade e da capacidade térmica. Colocou duas barras de forma idêntica, uma de ferro e outra de bismuto, sobre uma placa de aquecimento que transferia para as duas barras a mesma energia no mesmo tempo. Na parte superior das barras colocou um pouco de cera e verificou que a cera fundia primeiro na placa de bismuto apesar da condutividade térmica deste metal ser inferior à do ferro.

Para elaborar a experiência relativa à capacidade térmica mássica dos materiais, tal qual é apresentada na figura 1.5.1., seria necessário utilizar esferas de chumbo, bronze, ferro, vidro e zinco. No entanto, após uma busca exaustiva para a obtenção destes mesmos materiais, só foi possível encontrar materiais em chumbo, ferro e vidro

Capacidade Térmica

Corrida de Esferas: Cinco esferas diferentes são aquecidas e colocadas numa camada de parafina. Um conjunto de 5 esferas (Chumbo, Vidro, Zinco, Bronze, Ferro) é aquecido até 100°C, num banho de água em ebulição. Este conjunto é largado numa camada de cera de parafina. A esfera de ferro é a primeira a derreter a parafina, seguida da de bronze. A esfera de zinco perfura parcialmente. A esfera de chumbo e de vidro transpõem apenas uma pequena distância na parafina.



	CHUMBO	VIDRO	ZINCO	BRONZE	FERRO
Massa (g)	45	10	24	30	28
Capacidade térmica (cal g⁻¹ °C⁻¹)	0,031	0,160	0,092	0,092	0,105
Energia necessária para elevar 1°C (cal)	1,39	1,60	2,20	2,76	2,94

Figura 1.5.1. Esquema adaptado da experiência original [13]

Seguidamente ilustra-se o processo de construção do protótipo:

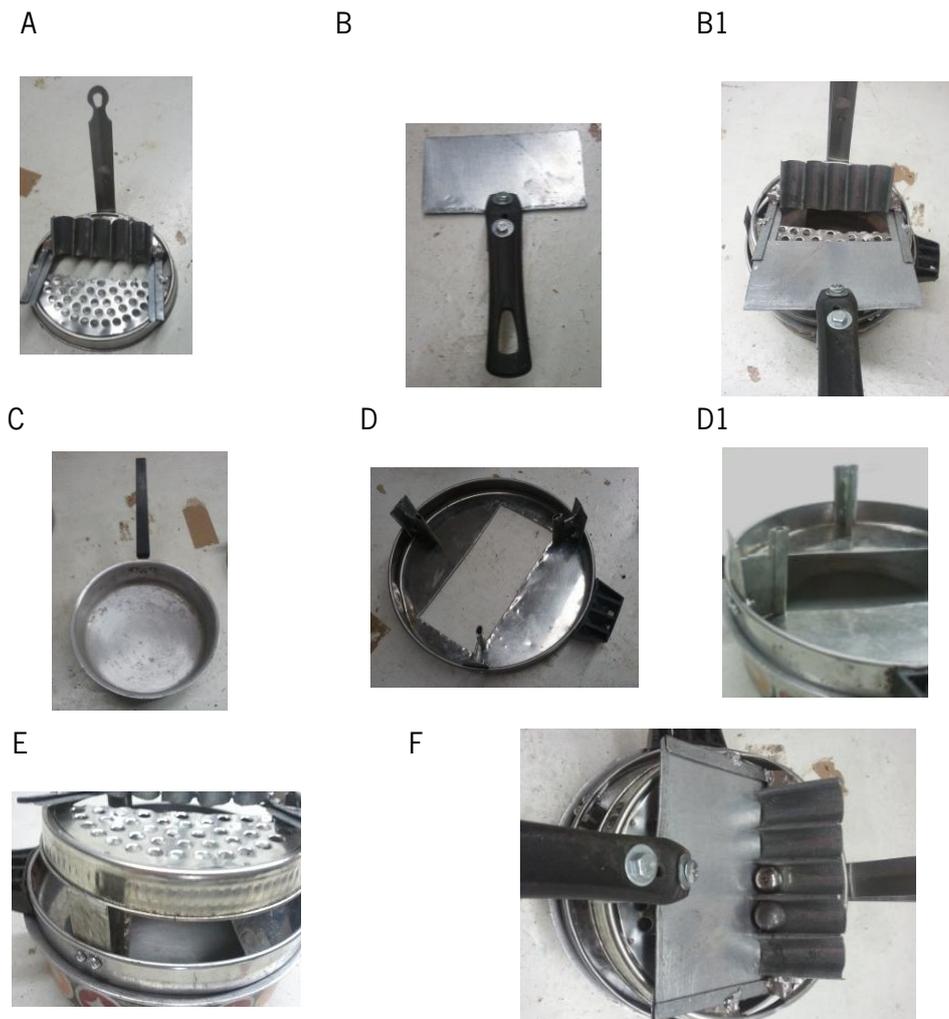


Figura 1.5.2. Esquema da construção do protótipo da experiência

Para elaborar o protótipo da experiência, tendo como referência a figura 1.5.1., procedeu-se da seguinte forma:

- A.** Para o suporte onde se vão colocar as esferas usou-se uma torradeira. Na base da torradeira fez-se uma abertura, por onde cairão as esferas (A). Adaptou -se um dispositivo para colocar as esferas (B) que está ligado a um outro, onde encaixa de forma a fechar a abertura (B1);
- B.** O recipiente descrito em A, é colocado no banho de água em ebulição, numa panela que estava inutilizada (C).
- C.** Para colocar a parafina, utilizou-se um recipiente (frigideira), onde se fez uma abertura (D), tal como se fez no suporte referido em A, e onde cairão as esferas. Foram ainda colocados uns apoios (D1), feitos de restos de metal, para encaixar o suporte que contém as esferas (E) para que não fique em contato direto com a parafina.

D. O tripé a usar será do laboratório, bem como o bico de Bunsen.

Os valores da capacidade térmica mássica e da massa dos materiais utilizados nesta experiência estão representados na tabela 1.4.1. [14]

Tabela 1.5.1. Valores da capacidade térmica mássica, condutividade térmica e da massa dos materiais utilizados na experiência

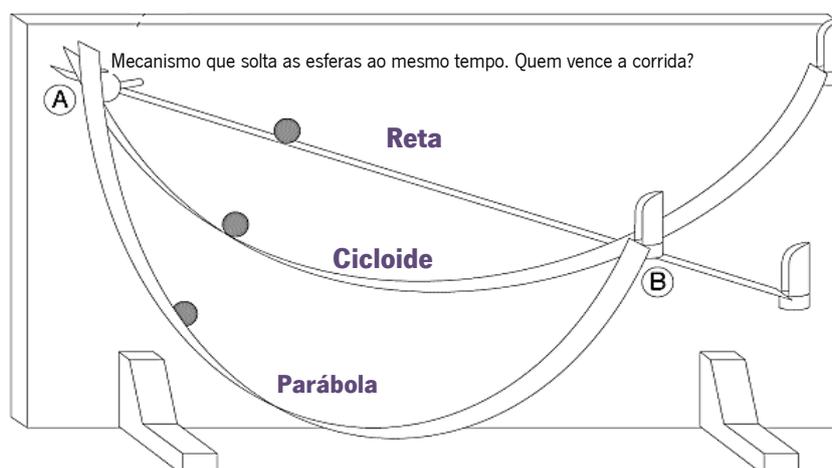
Materiais	Capacidade Térmica Mássica (25° C)		Massa (g)
	c (cal g ⁻¹ °C ⁻¹)	c (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	
Chumbo	0,0380	159	50
Ferro	0,106	443	28
Vidro	0,150	820	10

1.6. Experiência 6: A braquistócrona

Para ilustrar a conservação da energia mecânica, escolheu-se o problema da braquistócrona, formulado em 1696 por Johann Bernoulli. [15] Na figura 1.6.1 apresenta-se o esquema adaptado.

Conservação de energia

Braquistócrona: Esferas a percorrerem várias curvas



Em 1696 Jean Bernoulli enviou um desafio aos matemáticos na Europa para resolverem, em 6 meses, o seguinte problema: "Qual o *"caminho"* ao longo do qual, um corpo percorre, em **tempo mínimo**, partindo do ponto **A** até um ponto mais baixo **B**. Passado poucos meses, Bernoulli, Leibnitz e L'Hôpital encontraram a resposta. Quando Newton obteve uma cópia do problema, enviou a solução logo no dia seguinte. A cicloide representa a curva de menor tempo. (**Nota:** A velocidade em **B** é a mesma em todas as trajetórias).

Figura 1.6.1. Esquema original da experiência adaptado de [15].

A palavra braquistócrona deriva das palavras gregas *brakhisto* (que quer dizer “mais ligeiro”) e *Chronos* (que quer dizer “tempo”) e se refere à curva, ou caminho, que une dois pontos A e B pertencentes a um plano vertical, que leva o mínimo tempo a ser percorrido, quando uma partícula está submetida apenas à influência da gravidade.

A cicloide é a trajetória descrita por um ponto de uma circunferência de raio R quando essa “roda”, sem deslizar, sobre uma reta. A cicloide é uma curva muito interessante e já foi apelidada de Helena da Geometria, em alusão a Helena de Tróia.

Uma das primeiras pessoas a estudar a cicloide foi Galileu, que propôs que pontes podiam ser construídas no formato de cicloides, tentando encontrar a área sob um arco de uma cicloide.

Mais tarde a cicloide apareceu em ligada ao *Problema da Braquistócrona*: encontrar a curva ao longo da qual uma partícula desliza, sem atrito, num tempo mínimo (sob a ação da gravidade) a partir do ponto A até um ponto mais baixo B não na mesma vertical que contém A.

Em Julho de 1696, na revista *Acta Eruditorum*, fundada e mantida por Gottfried Wilhelm Leibniz, o matemático suíço Jean Bernouilli apresentou um problema que logo despertou o interesse de seus colegas. Tratava-se de achar qual deveria ser a forma de uma rampa para que uma partícula, deslizando por ela a partir do repouso e sob a ação da gravidade, gaste o menor tempo possível para atingir outro ponto mais baixo da trajetória. Leibniz espalhou o problema enviando-o por carta aos maiores matemáticos da época.

O fato é que o problema requeria conhecimento de cálculo diferencial e integral. No dia seguinte, Newton enviou um manuscrito com a solução, em latim e anónima, a Montagu, que era o presidente da *Royal Society*, com o encargo de publicá-la e mandá-la a Bernouilli.

Em maio de 1697, a *Acta Eruditorum* publicou quatro soluções cujos autores eram Leibniz, Bernouilli, o seu irmão mais velho Jacob Bernouilli (1654 – 1705) e a anónima de Newton”. Todos indicaram que a curva mais rápida, ou braquistócrona, deveria ser uma cicloide.

O físico holandês Christian Huygens já tinha mostrado em 1673, por métodos geométricos, que a cicloide é também a solução para o *Problema da Tautócrona*: a curva descrita por uma partícula deslizando livremente sob a ação apenas da gravidade, atingindo o ponto de mínimo (o fundo da curva) no mesmo instante independente do ponto de partida na curva.

Esse problema apareceu na construção de um relógio com pêndulo, cujo período é independente da amplitude de seu movimento. Mais tarde, a Tautócrona foi resolvida por Leibniz e Jakob Bernoulli usando argumentos analíticos. A solução de Bernoulli (em 1690) foi uma das primeiras ocasiões em que se resolveu explicitamente uma equação diferencial.

O primeiro passo na resolução do problema da braquistócrona, é encontrar o tempo que a partícula demora, para se deslocar sobre uma curva qualquer que una os pontos A e B . A partir daqui pode-se variar as formas das possíveis curvas para encontrar aquela em que o tempo de deslocamento é minimizado. Esquematizando no plano coordenado, (figura 1.6.2) temos:

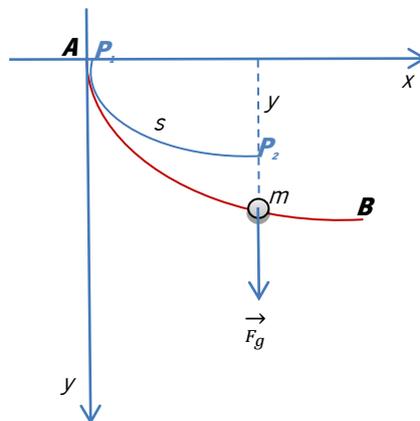


Figura 1.6.2. Esquema da trajetória de uma partícula sob a ação da gravidade

A cicloide pode ser descrita pelas seguintes equações paramétricas [16]:

$$\begin{cases} x = \alpha[t - \text{sen}(t)] \\ y = \alpha[1 - \text{cos}(t)] \end{cases}$$

Esta análise teórica do problema da braquistócrona [17], envolve cálculos matemáticos elaborados, que estão fora do âmbito deste trabalho. Por esta razão a cicloide e a parábola desenharam-se a partir de uma pesquisa na internet. [18] (ver anexo)

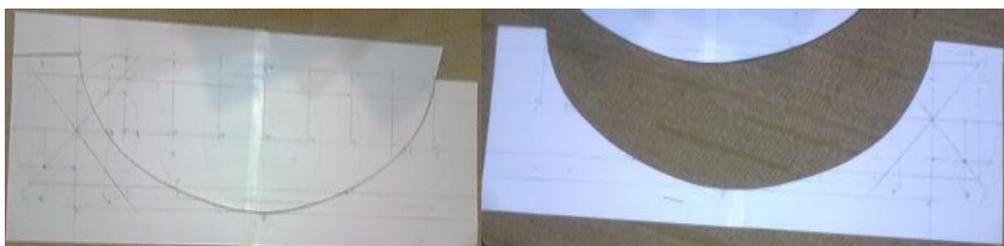


Figura 1.6.3. Desenho da cicloide

Num suporte em madeira, colocou-se o desenho da cicloide e da reta conforme ilustra a figura 1.6.4.



Figura 1.6.4. Procedimento efetuado para encontrar o ponto de interseção da reta com a cicloide

Para determinar a abertura da parábola mediu-se a distância do ponto A até ao ponto B (ver figura 1.6.4.). Seguidamente desenhou-se a parábola [19] (ver anexo):



Figura 1.6.5. Desenho da parábola

Ajustou-se a parábola ao suporte de madeira no qual se realizavam os ensaios para a construção da braquistócrona.



Figura 1.6.6. Esboço da braquistócrona

Após o esboço da braquistócrona estar concluído, procedeu-se à construção do protótipo. Para isso usou-se material em madeira para a base, para a reta, para a parábola e para a cicloide. Com o objetivo de minimizar o atrito, entre as esferas e a superfície em

madeira, optou-se por colocar em cada uma, um material que é usado na proteção de fios elétricos, vulgarmente designada de calha.



Figura 1.6.7. Construção do protótipo da braquistócrona.

Foram ainda adaptados dispositivos, um feito em madeira que permite que as esferas partam ao mesmo tempo (A e B), um outro que permite verificar qual delas chega em primeiro lugar, rodando quando a esfera passa (cor amarela para a reta, azul para a cicloide e verde para a parábola), e ainda duas caixas onde caem as esferas (C).

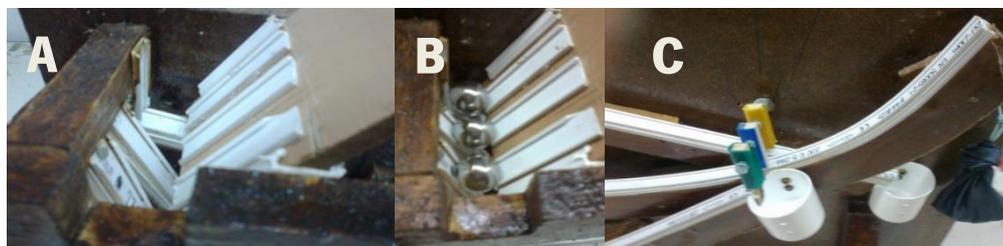


Figura 1.6.8. Dispositivos adaptados no protótipo.

A imagem final do protótipo está representada na figura que se ilustra seguidamente.



Figura 1.6.9. Protótipo final.

Capítulo III

1. Exploração das experiências didáticas.

As experiências demonstrativas, abordadas neste trabalho foram concebidas para oferecerem aos alunos uma observação direta dos fenómenos físicos.

Em alguns casos dar-se-ão propostas de exploração, particularmente dirigidas a docentes que pretendam explorar estas experiências, confrontando as interpretações dadas na época com as atuais, evidenciando-se a natureza do conhecimento científico e o carácter dinâmico da ciência, sugerindo-se a consulta o capítulo 2.

Cada atividade está estruturada da seguinte forma:

- A. Verifique se sabe**, com o objetivo de contextualizar a experiência;
- B. Observe, questione, registre** pois, como são experiências demonstrativas, torna-se fundamental o envolvimento ativo dos alunos nas mesmas, sendo uma condição necessária, para que uma demonstração não se reduza a um simples entretenimento.
- C. Investigue**, no sentido de consolidar os conhecimentos e integrar o que observou, sob o “olhar” dos cientistas da época, predispondo para uma aprendizagem cientificamente correta;
- D. Ir mais além**, pois pretende-se desafiar os alunos para a busca constante do conhecimento e para a ideia de que o conhecimento científico se constrói experimentando.

Salienta-se que estas experiências didáticas são demonstrativas, não sendo possível, em algumas, obter resultados que permitam obter, com rigor, os princípios ou leis em estudo. Como dizia Mark Twain: “*Devemos ter cuidado para extrair de uma experiência apenas o conhecimento que ela fornece - e parar aí; senão seremos como o gato que se senta na chapa quente de um fogão. Ele nunca mais se sentará de novo na chapa quente de um fogão, e isto está bem, mas ele também nunca mais se sentará numa chapa fria.*”

1.1 Transferências de energia

MÓDULO INICIAL: DAS FONTES DE ENERGIA AO UTILIZADOR

SITUAÇÃO ENERGÉTICA MUNDIAL E DEGRADAÇÃO DE ENERGIA

Experiência Didática 1 – Transferências e transformações de Energia

“ Erros são, no final das contas, fundamentos da verdade. Se um homem não sabe o que uma coisa é, já é um avanço do conhecimento saber o que ela não é.”

Carl Sagan



VERIFIQUE SE SABE...

1. As afirmações seguintes estão **cientificamente corretas**?
 - A. Uma bola move-se porque lhe forneceram energia;
 - B. O combustível a arder contém muita energia calorífica;
 - C. Estou cheio de calor;
 - D. A energia está em risco de faltar, poupe-a.
2. Indique se são verdadeiras ou falsas, cada uma das afirmações seguintes:
 - A. O rendimento de uma máquina nunca pode ser 100%.
 - B. A degradação de energia relaciona-se com a inutilidade dessa energia;
 - C. A unidade de rendimento de uma máquina é o watt.
 - D. No funcionamento de uma central hidroelétrica há degradação de energia.
3. No nosso dia-a-dia dizemos frequentemente que consumimos energia. No entanto, na linguagem da Física, a energia interna do Universo mantém-se constante. Há contradição entre essa ideia do dia-a-dia e a ideia científica.

OBSERVE, QUESTIONE, REGISTE...



Material

- Maquete;
- Massas de:
 - 1 kg
 - 2 kg
 - 4 kg
 - 6 kg
 - ...



Figura 1.1. Protótipo da experiência

1. Preveja o que acontece quando o professor colocar as massas, uma a uma, na extremidade do fio;
2. Note agora o que acontece e registre no caderno de laboratório, todas as observações.
3. Explique, os fenômenos físicos observados.
4. Que semelhanças e/ou diferenças encontrou entre as suas previsões e os resultados obtidos.
5. Que sugere para melhorar a atividade?



INVESTIGUE...

1. Após esta experiência, analise a resposta dada à questão 1, em “ Verifica se Sabe”, confronte com o que observou, e reformule (se necessário). Lembre-se que foi a partilha de ideias que permitiu o avanço da ciência.

2. Em 1971, um cientista muito conhecido que se debruçou sobre o estudo da energia, Richard Feynman, afirmou o seguinte:

“...é um facto estranho que possamos calcular uma certa quantidade numérica e, quando acabamos de observar a Natureza a efetuar as suas alterações, se calcula novamente essa quantidade, ela é a mesma”.

Depois do que observou na experiência, será que pode explicar o que Feynman nos queria transmitir?



IR MAIS ALÉM...

Descobre Richard Feynman:

<http://www.youtube.com/watch?v=IhrrW7Kr4Ts&feature=related>

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/feynman-bio.html

Um vídeo que fala do funcionamento de uma central hidroelétrica:

<http://www.youtube.com/watch?v=lqi2t4Od4Bg>

Traduzido por, HowStuffWorks Brasil, do autor Kevin Bonsor, o *site* seguinte descreve como funcionam as centrais hidroelétricas:

<http://ciencia.hsw.uol.com.br/usinas-hidreletricas1.htm>

SUGESTÃO PARA A DEMONSTRAÇÃO DA EXPERIÊNCIA:

Sugere-se que esta experiência seja realizada na unidade inicial, quando se aborda as transferências e transformações de energia de energia.

Nesta experiência didática demonstrativa, um dínamo entra em funcionamento através de um sistema de roldanas que estão ligadas a um eixo de transmissão que se movimenta devido a um fio que se desenrola por ação de uma massa, de valor conhecido, em queda.

A ênfase deve ser dada às transferências de energia que ocorrem entre dois corpos e as suas implicações e ao fato de que tanto numa transferência como numa transformação de energia, a energia não se cria nem se destrói, conserva-se e degrada-se.

A linguagem de "transformação" de energia é fácil de entender por parte dos alunos. Estes, associam facilmente que, por exemplo, quando uma bola cai há a transformação da energia potencial gravítica da bola (uma forma de energia) em energia cinética (outra forma de energia), ou seja, uma transformação de energia ocorre no mesmo corpo, ou sistema em estudo. Mas está perigosamente perto de ser, nada mais, nada menos, do que um jogo de palavras.

Descrever cadeias de transferência de energia, com um motor (dínamo) e a queda de uma determinado corpo, pode tender apenas para esse jogo de palavras. Assim e a este nível de ensino, considera-se que a energia cinética associada ao movimento das roldanas é irrelevante para a compreensão do processo global. É mais vantajoso focalizar o estudo na energia armazenada no início e no final do processo.

Nesta experiência optou-se por manter constante o comprimento do fio (altura) e variar a massa do corpo. A energia potencial gravítica é dada pela expressão $E_{pg} = mgh$ e a energia elétrica (lâmpada) é dada pela expressão: $E = I U \Delta t$, sendo que $I = 0,5 \text{ A}$ e $U = 6 \text{ V}$.

- Prenda a maquete da atividade didática à mesa (ou bancada) com uns ganchos;
- Coloque na extremidade do cordão as massas (comece pela mais leve) e enrole o cordão em volta do eixo;
- Quando a massa é largada fará movimentar, o eixo e o sistema de roldanas;
- Verificará que a lâmpada só acenderá quando a massa tiver o valor aproximado a 13 Kg.

Ao mesmo tempo que executa a experiência pode-se questionar os alunos acerca do que estão a observar, como por exemplo:

- a) Conseguem identificar o tipo de transformações e de transferências de energia estão a ocorrer?
- b) Porque será que para a lâmpada acender é necessário um corpo com massa de 13 kg?
- c) Se o tempo que a massa demora a atingir a altura mínima for de 0,01 s, qual será o rendimento deste processo?

- d) Que parâmetros poderiam ser alterados nesta experiência para melhorar o seu rendimento?
- e) Depois de comparar os valores obtidos, concluirá que a energia não é integralmente aproveitada pelo sistema e que houve degradação de energia. (poder-se-á explorar o conceito de sistema físico aberto, fechado e isolado). O nosso dia-a-dia está repleto de exemplos de sistemas abertos e fechados. E isolados?

1.2. Experiência de Joule

MÓDULO INICIAL: DAS FONTES DE ENERGIA AO UTILIZADOR

2- CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Experiência Didática 2 – Experiência de Joule - Equivalência trabalho-calor.

“Se o leitor pedir um café num café, muito se admiraria se o empregado, aparentemente conhecedor, da termodinâmica, lhe perguntasse se queria a água do café aquecida com trabalho ou com calor. “Não importa”, poder-lhe-ia responder, “*traga-me café com energia interna e meta-lhe lá dentro a energia como quiser!*”. Em nossas casas pomos simplesmente a cafeteira da água no fogão da cozinha e acendemos o lume. Este processo é muito mais simples e eficiente do que mexer energicamente a água da cafeteira ou deixar cair uma pedra, enrolada a um fio. Estes últimos processos davam-nos muito trabalho...”

In Física Divertida, Carlos Fiolhais

Pois, mas isso conseguimos nós agora !!!!! E sabem devido a quem?

James Prescott Joule.

Joule, filho de um cervejeiro, nasceu perto de Manchester. Planeava experiências, concebia e construía equipamentos que ia sempre aperfeiçoando. Um dos seus trabalhos foi a investigação da equivalência entre calor e trabalho. O equivalente mecânico do calor, refere-se à relação entre caloria (unidade usual de calor) e joule (unidade de energia no Sistema Internacional de unidades (SI)). Para medir essa relação, o cientista considerou que o calor e a energia mecânica tinham a mesma natureza.

Mas, antes de continuarmos...



VERIFIQUE SE SABE...

1. Indique se são verdadeiras ou falsas as seguintes afirmações e explique por que é que algumas são falsas:
 - A. A energia interna de um corpo resulta da energia cinética e energia potencial das suas partículas.
 - B. A energia de um corpo é sempre igual à sua energia interna.
 - C. Há três tipos fundamentais de energia: cinética, potencial e interna.
 - D. A energia interna exprime-se em joule.
 - E. A temperatura é uma propriedade de um sistema que está relacionada com a agitação das suas partículas.
 - F. A temperatura de um sistema, tal como a sua energia interna, é independente da quantidade de matéria que o constitui.
 - G. É possível aquecer um corpo, sem lhe fornecer energia como calor.

3. Numa locomotiva a vapor, o cilindro recebe 500 kJ de energia proveniente do carvão e realiza o trabalho de 100 kJ, no mesmo intervalo de tempo.
 - a. Determine a energia transferida, como calor, para a vizinhança, no referido intervalo de tempo.
 - b. Determine o rendimento da locomotiva a vapor



OBSERVE, QUESTIONE, REGISTE...

Um recipiente isolado termicamente (vaso calorimétrico) contém uma certa quantidade de água, um termómetro para medir sua temperatura, um conjunto de pás, que podem girar juntamente com um eixo ao qual estão ligadas. O conjunto gira dentro do recipiente, devido à queda das massas, presas por um fio que passam por duas roldanas, tal como pode observar no protótipo que o professor está a apresentar (fig.1.2). Nesta demonstração da experiência de Joule, desprezam-se a perda de energia pelas paredes isolantes do recipiente do calorímetro e outras perdas devidas ao atrito nas roldanas, etc.



Figura 1.2- Protótipo da experiência de Joule

1. Considere que as massas são largadas e a sua velocidade se mantém constante. O que está a acontecer à energia mecânica do sistema?
2. À medida que as massas caem, a água exerce forças sobre as pás que rodam. Enquanto as pás rodam qual é o mecanismo de transferência de energia que está a ocorrer?
3. Como poderá observar, a temperatura da água aumenta ligeiramente. Ou seja, a energia interna aumentou. A que se deve este aumento?



INVESTIGUE...

1. Depois de observar a demonstração da reprodução da experiência de Joule, consegue explicar o que significa a frase: “Esta famosa experiência de Joule permitiu estabelecer, a equivalência entre calor e trabalho”.
2. Indique várias formas de aumentar a temperatura de um corpo;
3. Imagine que foi possível obter, através da experiência realizada, os resultados experimentais, de um dos ensaios, os quais estão registados na tabela seguinte:

Tabela 1.2. Valores experimentais obtidos

Massa do corpo (kg)	Massa de água (kg)	Altura (cm)	Θ_i (°C)	Θ_f (°C)
50,0±0,1	0,100±0,001	1,00 ±0,05	20,0±0,1	21,2±0,1

- a) Determine com estes dados, o equivalente mecânico do calor. Que conclui?
- b) O que considera que se poderia fazer, para melhorar o resultado?
- c) Determine que altura deverá cair um recipiente termicamente isolado, contendo água, para que a sua temperatura aumente de $1,0^{\circ}\text{C}$. Admita que toda a energia potencial gravítica se transforma em energia interna quando a água colide com o solo. Discuta o resultado.



IR MAIS ALÉM...

Simulações da experiência de Joule:

<http://www.youtube.com/watch?v=5yOhSIAIPRE&feature=related> (abril de 2012)

<http://www.oocities.org/br/saladefisica3/laboratorio/expjoule/expjoule.htm> (abril de 2012)

Texto acerca do conceito de calor:

<http://mc2h2o.blogspot.pt/2011/06/calor-por-todo-o-lado.html> (agosto 2012)

SUGESTÃO PARA A DEMONSTRAÇÃO DA EXPERIÊNCIA:

Com a descrição da experiência de Joule, pretende-se confrontar o modo como interpretou os resultados da sua experiência (conversão de trabalho em calor) com a forma como hoje estes são aceites (aumento de energia interna devida a cedência de energia como trabalho).

Sugere-se que a experiência seja realizada, na unidade inicial, quando se introduz o conceito de conservação de energia e se refere a Primeira Lei da Termodinâmica.

Cuidados a ter na execução da experiência:

- Ter o calorímetro aberto para os alunos observarem as pás;
- Fechar o calorímetro com cuidado, pois a tampa está ligada a uma vareta;
- Colocar a base em madeira na parte inferior do calorímetro, para que fique fixo;

- Na parte superior do suporte em madeira, existe um gancho, onde se pode fixar a ponta do fio, quando completamente enrolado;
- Na base do suporte, de cada lado do calorímetro tem uma abertura para que as massas utilizadas, caiam de alturas diferentes.

Mais uma vez se salienta que com esta experiência, pretende-se comparar as interpretações dadas na época, com as atuais, promovendo a discussão acerca da natureza do conhecimento científico e o carácter dinâmico da Ciência. Para isso pode consultar-se o capítulo 2, onde se aborda a experiência original realizada por Joule, feita com recursos limitados e recorrendo a objetos e situações do quotidiano.

1.3. Radiação

UNIDADE 1: DO SOL AO AQUECIMENTO
A ENERGIA NO AQUECIMENTO/ ARREFECIMENTO DE SISTEMAS
Experiência Didática 3 – Radiação



VERIFIQUE SE SABE...

- 1)** Se estiver nu ao ar livre num dia frio de Inverno, por que é que sentiria frio? A energia (calor) do seu corpo libertar-se-ia para o ar por condução térmica? Porque é que com um casaco de peles se sentiria mais quente? Ele não conduziria a energia, como calor, também?
- 2)** Quando estiver dentro de casa num dia frio, ponha-se diante de uma janela grande e depois vire-se de costas. Muito provavelmente o seu rosto sentirá mais frio do que na primeira posição. Porquê? No fim de contas, a temperatura do ar, não muda de repente só porque se vira de costas.
- 3)** No filme 2001 – Odisseia no Espaço, há um astronauta, que se move no espaço, sem fato espacial, durante uns segundos. (O autor do livro Arthur C. Clarke, pensa que isso não envolveria qualquer perigo para o astronauta). No tal passeio no espaço cósmico, o astronauta sentiria frio?

Adaptado de “ O grande circo da Física” de Jearl Walker



OBSERVE, QUESTIONE, REGISTE...

1. Nesta atividade, para ilustrar o conceito de radiação, o dispositivo foi construído de modo a que a distância entre a superfície preta (A) e a superfície branca (B) fosse a mesma relativamente à fonte de luz. Porque é que este pormenor é importante?



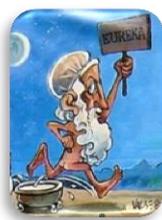
Figura 1.3- Protótipo da experiência: Radiação

2. As duas superfícies, estão ligadas, por um tubo que contém água à qual se adicionou corante alimentar verde. Se reparar o líquido está à mesma altura nos dois tubos que sustentam a superfície A e B. Observe o que acontece quando se liga a fonte de luz (lâmpada de 100 W).

3. Em qual das superfícies, A ou B, há maior aumento de energia interna? Porquê.

4. Qual foi a evidência observável que levou a essa conclusão? Tente encontrar uma explicação para esse fato.

5. A partir da observação da experiência, comente a frase: “ A superfície preta relativamente à superfície branca tem um comportamento próximo de um corpo negro. Ou seja, tem um poder de absorção maior, enfatizando a chamada Lei de Stefan Boltzmann da radiação”.



INVESTIGUE...

1. Uma pessoa veste roupa escura e outra, roupa clara. Discuta qual delas veste roupa mais apropriada para um dia em que a temperatura ambiente está bastante abaixo da temperatura média do corpo humano.

2. No ensino básico aprendeu que se podiam classificar os corpos em “luminosos” e “iluminados”, conforme, respetivamente, emitiam luz própria ou apenas refletiam a luz

que neles incidia. Proponha uma nova definição para corpos “luminosos” e “iluminados”.

3. Responda às questões propostas em “verifique se sabe”.



IR MAIS ALÉM...

Por que razão o telescópio espacial Spitzer foi pintado com duas cores:

http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/ask_astronomer/video/2003-001.shtml

(maio de 2012)

SUGESTÃO PARA A DEMONSTRAÇÃO DA EXPERIÊNCIA:

Sugere-se que a experiência seja realizada antes de se introduzir o conceito de radiação. Recorrendo ao capítulo 2 deste trabalho, poder-se-á fazer uma abordagem histórica, contextualizando-se esta experiência e o conceito de emissor perfeito. Nesta experiência ao ligarmos a lâmpada, observa-se o abaixamento da coluna da água no corpo que absorve mais radiação, (o que está pintado de preto). A quantidade de radiação recebida pelos dois corpos é igual, pois estão à mesma distância da fonte emissora. No corpo que absorve mais energia sob a forma de radiação, há um aumento da pressão interna, o que faz com que o líquido desça.

1.4. Condução e convecção

UNIDADE 1: DO SOL AO AQUECIMENTO A ENERGIA NO AQUECIMENTO/ ARREFECIMENTO DE SISTEMAS Experiência Didática 4 – Condução e convecção



VERIFIQUE SE SABE

1. Quando se coloca uma colher de metal dentro de uma panela com água a aquecer e se segura a ponta do cabo, nota-se que esta extremidade se torna cada vez mais quente,

podendo mesmo queimar a mão. Isto, apesar de a mão estar distante da água. Porque é que a mão queima, se não está em contato com a água quente?

2. Considerando a mesma situação da questão anterior, mas desta vez com uma colher de madeira não notará esse efeito. Porque é que isso acontece?

3. Numa sala fria, o tampo de uma mesa de metal, parece, ao tato, estar mais fria do que o tampo de uma mesa de madeira, embora os dois estejam à mesma temperatura. Porquê?

Confuso?

Vamos então tentar clarificar ...



OBSERVE, QUESTIONE, REGISTE...

Na experiência que vamos realizar, visualiza três varetas: uma de latão, outra de alumínio e outra ainda de cobre. Este sistema está ligado a uma panela de pressão, que contém água.

Como pode verificar, todo este dispositivo foi construído com materiais de forma a minimizar as transferências de energia, sob a forma de calor, para a vizinhança.

Observe o que acontece a partir do momento que se coloca a panela de pressão na placa de aquecimento.



Figura 1.4. A- Protótipo da experiência: Condução

1. Registe o que acontece à medida que o tempo passa.

2. Discuta, se a sequência na qual o vapor sai pelas varetas, lhe permite tirar conclusões sobre a propagação de energia, sob a forma de calor.
3. Considera que o comprimento e a espessura das varetas têm alguma influência nos fatos observáveis?
4. Tendo em conta os valores da condutividade térmica de alguns materiais que constam na tabela 1, o que prevê que pode acontecer se a vareta de alumínio fosse substituída por uma das outras disponíveis dos materiais tabelados.

Tabela 1.4.A - Condutividade térmica de alguns materiais

Material	k (J s⁻¹m⁻¹K⁻¹)
Prata	427
Cobre	397
Alumínio	238
Ferro	80
Vidro	0,8
Cimento	0,8
Borracha	0,19
Madeira	0,08
Cortiça	0,06



INVESTIGUE...

1. Confirme se as suas ideias estavam corretas, aquando da resposta ao questionário “Verifique se Sabe...”
2. Encontre a explicação científica para a frase seguinte: O puxador de ferro de uma porta de madeira está gelado nas manhãs frias de Inverno, mas nos dias de sol, no Verão, o mesmo puxador de ferro escalda.

SUGESTÃO PARA A DEMONSTRAÇÃO DA EXPERIÊNCIA:

Na experiência aqui explorada pretendia-se que o vapor passasse através de um tubo de metal ligado a seis varetas em metal: chumbo, estanho, prata alemã, bronze, alumínio e cobre. Contudo, após várias tentativas para encontrar os referidos tubos só foi possível, construir o protótipo com tubos de cobre, alumínio e latão. Também não foi possível utilizar a tinta sensível à temperatura.

Assim considera-se fundamental, quando se coloca no aquecimento o sistema constituído pela panela de pressão, ter atenção à saída do vapor nos referidos tubos para se poder relacionar o tipo de material com os valores da condutividade térmica. Outro aspeto a ter em conta é manter a torneira de saída de vapor fechada, enquanto decorre a experiência. Sugere-se que, as experiências que demonstram os processos de transferência de energia por condução e por convecção sejam realizadas após a introdução dos referidos conceitos.

Experiência Didática 4B – Convecção

Leia atentamente o que o Bart está a transmitir:

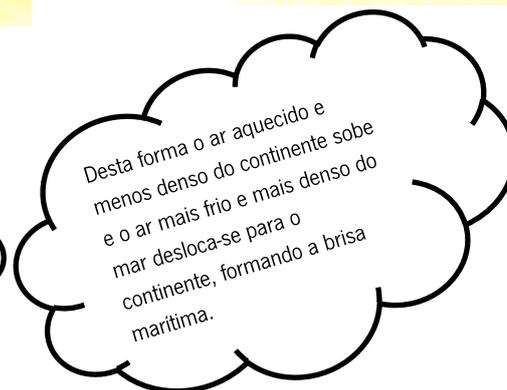
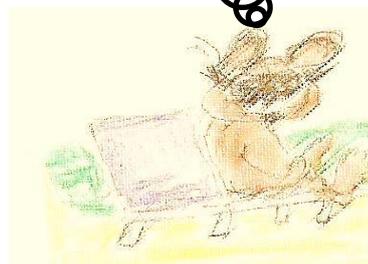
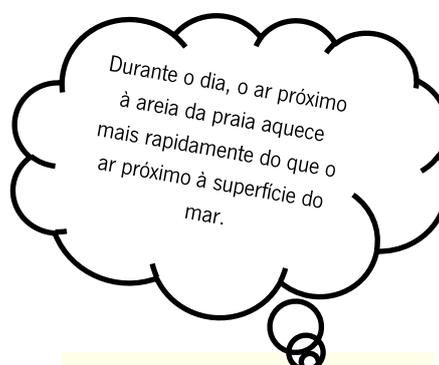
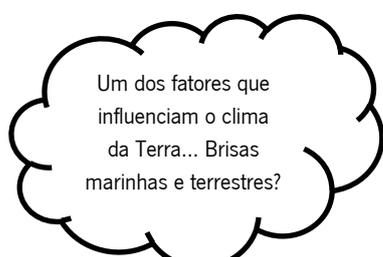




Figura 1.4. B – Correntes de convecção



OBSERVE, QUESTIONE, REGISTE...

A conclusão a que o Bart chegou está na base da experiência didática a realizar. Para já, não nos vamos preocupar com a resposta. Neste caso específico temos um dispositivo num formato circular, conforme pode observar. Na parte inferior, o tubo é em vidro, sendo o restante construído em tubo de plástico.

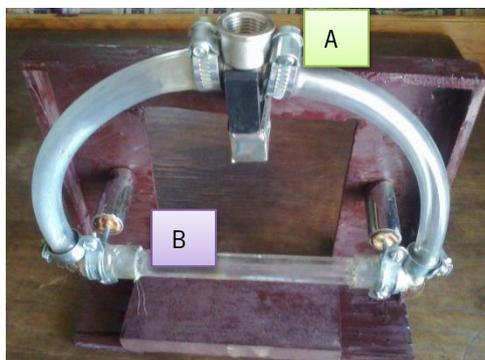


Figura 1.4.1. B – Protótipo da experiência: Convecção

1. No orifício em A, adiciona-se água até encher por completo o dispositivo.
2. Em B, coloca-se a lamparina de álcool, que tem como função fornecer energia sob a forma de calor para o sistema.
3. Ao fim de algum tempo, adiciona-se algumas gotas de corante alimentar. O que prevê que vai acontecer?
4. Registe o que observou.
5. Que explicação encontra para o que aconteceu?
6. Enquanto o Garfield falava em brisa marítima (ar), a experiência realizada envolveu um líquido. A explicação para os dois fenómenos é a mesma?
7. Já pode completar o raciocínio de Bart...



INVESTIGUE...

1. Tente explicar porque é que os dispositivos, por exemplo como os asa-delta, conseguem percorrer enormes distâncias, sem consumo de combustível próprio.
2. Encontre a justificação científica para o seguinte fato: O aparelho de ar condicionado é colocado no teto, mas o aquecedor é sempre colocado no chão.
3. Analise a importância das correntes de convecção na dispersão de poluentes atmosféricos.



IR MAIS ALÉM...

Várias simulações em Inglês:

http://www.schoolphysics.co.uk/animations/Heating_a_rod/index.html (maio 2012)

http://www.schoolphysics.co.uk/animations/Heating_a_gas/index.html (maio 2012)

Texto acerca da condução térmica:

<http://mc2h2o.blogspot.pt/2008/12/como-que-os-esquims-no-tm-frio-dentro.html> (maio 2012)

http://www.fisicavivencial.pro.br/sites/default/files/sf/632SF/03_laboratorio_frame.htm (maio 2012)

SUGESTÃO PARA A DEMONSTRAÇÃO DA EXPERIÊNCIA:

Nesta experiência, não se deve colocar a fonte de aquecimento centrada mas ligeiramente na lateral (tendo o cuidado de não ser na parte onde se faz as ligações entre a parte em vidro e a parte em borracha). Se for necessário elevar a lamparina de álcool, colocar a base em madeira.

1.5. Experiência de Tyndall

UNIDADE 1: DO SOL AO AQUECIMENTO
A ENERGIA NO AQUECIMENTO/ ARREFECIMENTO DE SISTEMAS
Experiência Didática 5 – Experiência de Tyndall

O físico irlandês John Tyndall, que viveu no século XIX, fez uma experiência que evidenciou os papéis da condutividade térmica e da capacidade térmica. Colocou duas barras de forma idêntica, uma de ferro e outra de bismuto, sobre uma placa de aquecimento que transferia para as duas barras a mesma quantidade de energia no mesmo intervalo de tempo.

Na parte superior das barras colocou um pouco de cera e verificou que a cera fundia primeiro na barra de bismuto apesar da condutividade térmica deste metal ser inferior à do ferro.



VERIFIQUE SE SABE...

Como é possível que na experiência de Tyndall, a cera tivesse fundido primeiro na barra de bismuto apesar da condutividade térmica deste metal ser inferior à do ferro?



OBSERVE, QUESTIONE, REGISTE...

1. Coloca-se a parte **A** do dispositivo, na parte **B**, de acordo com a figura seguinte:



Figura 1.5 – Ilustração do procedimento A

2. Depois de encaixar devidamente, a parte A e a parte B do dispositivo, colocam-se as esferas de vidro e ferro. Colocam-se num recipiente metálico, em banho de água em ebulição, pelo menos durante 10 min, para que a quantidade de energia, sob a forma de calor, transferida para todas as massas seja análoga;



Figura 1.5.1 – Ilustração do procedimento B

3. Colocar uma placa de parafina na parte C do dispositivo,

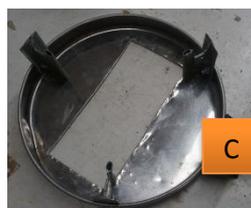


Figura 1.5.2 – Ilustração do procedimento C

4. Remover as massas do aquecimento, e colocar simultaneamente sobre a base de parafina:



Figura 1.5. 3 – Ilustração do procedimento D

5. Registe o que observou e procure uma explicação para as observações efetuadas.



INVESTIGUE...

1. Conteste porque é que, na experiência de Tyndall, a cera fundia primeiro na barra de bismuto apesar da condutividade térmica deste metal ser inferior à do ferro.
2. Explique por que motivo se aquecem no banho-maria, durante o mesmo tempo, as massas.
3. Compare a profundidade alcançada na base de parafina pelas massas com base nos valores das respectivas condutividade térmica e capacidade térmica para cada uma das substâncias.



IR MAIS ALÉM...

Vídeos acerca de condutividade térmica:

<http://mc2h2o.blogspot.pt/2011/05/condutividade-termica.html> (agosto de 2012)

<http://www.youtube.com/watch?v=vqDbMEdLiCs&list=EC16649CCE7EFA8B2F&index=1&feature=plcp> (agosto 2012)

SUGESTÃO PARA A DEMONSTRAÇÃO DA EXPERIÊNCIA:

Esta experiência tem como finalidade permitir aos alunos perceber a relação entre os conceitos de condutividade térmica e capacidade térmica mássica. Os alunos não podem desenvolver uma aprendizagem rica (significativa e rigorosa) com base em atividades sobre as quais nada sabe à partida, sem sequer compreenderem as questões ou problemas que vão tentar resolver e sem terem os conhecimentos minimamente necessários para recolher dados, transformá-los adequadamente de modo a tornar explícitas as conclusões, responderem e criticarem as respostas às questões e refletirem sobre a sua própria aprendizagem. Deste modo recomenda - se, a implementação desta experiência, no final da unidade 1, após se ter realizado a atividade do programa curricular, AL 1.3. – Capacidade térmica mássica.

O tópico, **OBSERVE, QUESTIONE, REGISTE**, descreve o procedimento desta experiência. Como referido no capítulo II, existe a limitação dos materiais, daí ser necessário estar atento para se conseguir obter resultados pertinentes. Acresce ainda o facto de que na experiência original os materiais tinham a mesma massa, ao contrário do que acontece aqui. As massas diferem, bem como o tipo de material. A tabela seguinte exhibe os valores tabelados da capacidade térmica mássica, condutividade térmica e massa dos materiais utilizados.

Tabela 1.5.1. Valores da capacidade térmica mássica, da condutividade térmica e da massa dos materiais utilizados na experiência

Materiais	Capacidade térmica mássica (25°C)	Condutividade térmica	Massa (g)
	c (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	K (wm ⁻¹ K ⁻¹)	
Chumbo	159	35	50,0 ± 0,1
Ferro	443	53	28,0±0,1
Vidro	820	0,8	22,0±0,1

Alerta-se para o seguinte:

- A espessura da base de parafina deve ser uniforme, para que os resultados sejam credíveis. Nesta experiência utilizou-se parafina retirada de uma barra comprada numa droguaria. Derreteu-se e colocou-se num pequeno molde de forma a garantir a uniformidade na espessura.

- Ao retirar-se o dispositivo que contém as esferas do banho de aquecimento para o colocar sobre o dispositivo onde está a base da parafina, deve ser posicionado para que as esferas ao caírem estejam na mesma direção que a base da parafina. Isto porque, se isso não acontecer as esferas caem no local onde não existe a abertura com a parafina.
- Apesar da massa do ferro ser inferior à massa do chumbo, vão verificar que será a esfera de ferro a perfurar a parafina. Ao analisar a tabela verificarão que tanto a capacidade térmica mássica como a condutividade térmica do ferro é superior à do chumbo.
- Quanto à esfera de vidro é a que perfura menos a parafina, tem a massa menor (seria desejável encontrar uma esfera com maior massa para poder obter resultados mais evidentes), e a capacidade térmica mássica maior, contudo a condutividade térmica é muito baixa relativamente aos outros materiais aqui estudados.
- Considerando o fato de que o ensino científico, por vezes está reduzido basicamente à apresentação de conhecimentos já elaborados, sem dar ocasião aos estudantes de tomarem contato com as atividades características da atividade científica este material didático busca favorecer o estabelecimento de discussões em sala de aula sobre características essenciais do trabalho científico, tais como o rigor das medições, as variáveis que podem induzir erros na observação, o número de ensaios necessários realizar para se obter conclusões creíveis, etc.

1.6. A Braquistócrona

UNIDADE 2: ENERGIA EM MOVIMENTOS

2. A ENERGIA DE SISTEMAS EM MOVIMENTO DE TRANSLAÇÃO

Experiência 6: Conservação de Energia

Um pouco de história ...

Em 1696 Jean Bernoulli propôs o seguinte desafio: encontrar “*o caminho*” ao longo do qual uma partícula desliza, sem atrito, em **tempo mínimo** (sob a ação da gravidade) a partir do ponto **A** até um ponto mais baixo **B**, não na mesma vertical que contém **A**, conforme ilustra a figura abaixo.

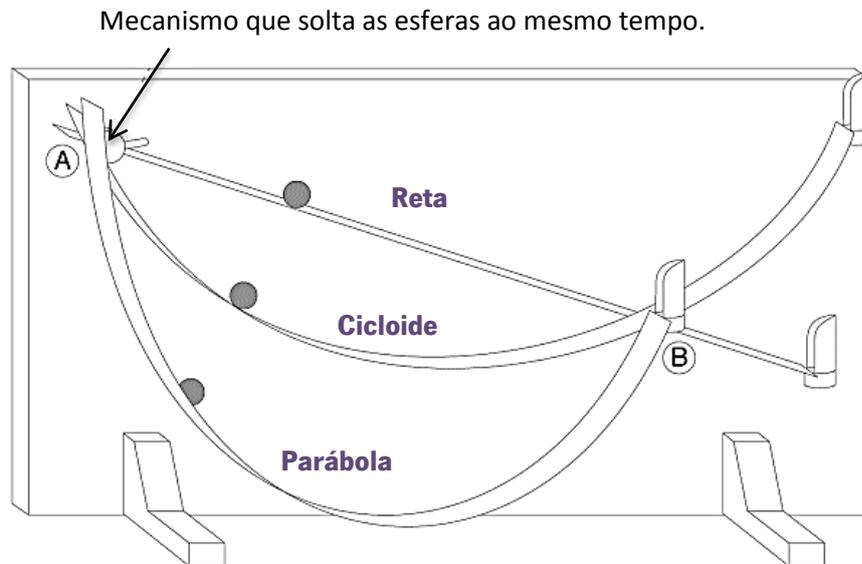


Figura 1.6. Esquema do desafio proposto por Jean Bernoulli

Este problema foi resolvido por Jakob Bernoulli (irmão de Jean Bernoulli), Isaac Newton, Gottfried Leibniz e Marquês de L’Hospital. Diz-se, embora sem comprovação, que Newton soube do problema no final da tarde de um dia cansativo na Casa da Moeda e que o resolveu naquela noite após o jantar, publicando a solução anonimamente.

Todos indicaram que a curva mais rápida, deveria ser ...

No século XXI...



VERIFIQUE SE SABE...

Observe o protótipo construído para responder ao problema levantado por Bernoulli:

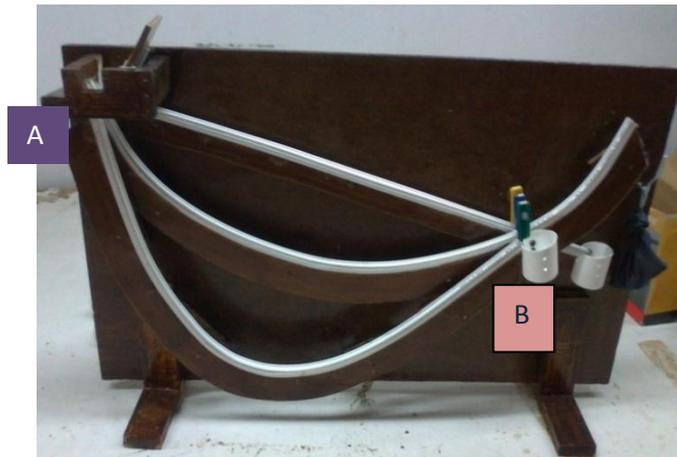


Figura 1.6.1 Protótipo construído a partir do desafio proposto por Jean Bernoulli

Desafio 1: Se, no ponto A, colocarmos uma esfera na reta e outra esfera na cicloide, largando-as ao mesmo tempo, qual prevê que chegará primeiro a B?

E se baralharmos um pouco?

Desafio 2: Se colocarmos, no ponto A, uma esfera na cicloide e outra esfera na parábola, largando-as ao mesmo tempo, qual prevê que chegará primeiro a B?

Baralhar um pouquinho mais...

Desafio 3: Se colocarmos, no ponto A, três esferas de massas iguais, uma na reta, outra na cicloide e outra na parábola, e as largarmos ao mesmo tempo, qual delas prevê que chega primeiro ao ponto B, que é o mesmo que perguntar: Qual das bolas vence a corrida?

Desafio 4: Relativamente à velocidade com que as esferas chegam ao ponto B, o que prevê que acontece nas situações referidas nos desafios 1,2 e 3?



OBSERVE, QUESTIONE, REGISTE...

Agora, observe a demonstração do professor na execução da experiência conforme o descrito nos desafios anteriores. Registe o que observa.

Compare suas observações com as suas previsões. Coincidem?

Então a resposta ao problema da braquistócrona, verificada experimentalmente, é que a curva mais rápida é a _____, porque _____.



INVESTIGUE...

1. Suponha agora que dois corpos, de massas diferentes ($m_1 > m_2$), sejam largados na posição A, ao longo da reta e da cicloide. Em B, no final da trajetória:
 - a) As velocidades dos corpos 1 e 2 são iguais;
 - b) A velocidade do corpo 1 é maior que a do corpo 2;
 - c) A velocidade do corpo 2 é maior que a do corpo 1;
 - d) Os corpos não adquirem velocidade.

Selecione a opção correta, **justificando**.

2. O vertical é uma modalidade de *skate* praticada em rampas em forma de U , conhecidas por *Half Pipe*. Essas rampas são feitas de compensado naval, um tipo de madeira bastante resistente, e, em geral, são compostas por uma parte central plana e dois arcos de circunferência nas laterais.

Nas competições de vertical, os *skatistas* são avaliados segundo critérios de criatividade e grau de dificuldade das manobras, que devem ser executadas num intervalo de tempo preestabelecido. Dessa forma, quanto menos tempo o *skatista* gasta percorrendo a extensão da rampa de um lado para o outro, mais tempo lhe sobrar para executar as manobras aéreas verticais que contam pontos. Dada a importância em fazer o percurso da rampa no menor tempo possível, qual deve ser a forma da rampa?



IR MAIS ALÉM...

Podes ver uma cicloide, observando os fios de eletricidade suspensos pelos postes e submetidos à aceleração da gravidade.

Skate também é física. Vídeo sobre a aplicação da física sobre o skate em rampas:

<http://www.youtube.com/watch?v=soWUPEaJYTM> (maio de 2012)

<http://www.youtube.com/watch?v=Vy1zd8IUSfs&feature=related> (maio de 2012)

Simulação acerca da lei da conservação de energia:

<http://phet.colorado.edu/en/simulation/energy-skate-park-basics> (maio de 2012)

SUGESTÃO PARA A DEMONSTRAÇÃO DA EXPERIÊNCIA:

Esta atividade deve ser realizada como ponto de partida para a abordagem dos conteúdos relacionados com a conservação da energia mecânica, incluídos na unidade 2, no ponto 2.2. A energia de sistemas em movimentos de translação. Pode ainda ser utilizada, quando se explora a lei do trabalho – energia. Assim, considerando que a partícula está sujeita apenas à ação da gravidade (desprezando as forças dissipativas), o trabalho realizado pela partícula para se deslocar de *um ponto* P_1 até um ponto P_2 é igual à variação da energia cinética. Assim, indicando por v o módulo da velocidade (velocidade escalar) da partícula no ponto P , por y o seu deslocamento vertical e por m a sua massa, temos

$$W_{\vec{P}} = \Delta Ec \Leftrightarrow mgy = \frac{1}{2} m v^2$$

Sendo a velocidade escalar da partícula, num ponto qualquer da trajetória, dada pela expressão²:

$$v = \sqrt{2gy}$$

² Despreza-se a energia cinética de rotação

Acresce alertar para o cuidado a ter, quando se colocam as esferas, no mecanismo que permite que sejam soltas ao mesmo tempo, devendo estar bem posicionadas, para não caírem no momento em que se retira o mesmo, ou enquanto percorrem a calha.

Capítulo IV

1. Conclusões e sugestões

Com este trabalho pretendeu-se dar um contributo efetivo para o desenvolvimento da componente experimental da disciplina de Ciências Físico-Químicas no 10.^o ano de escolaridade.

Através da análise do programa do 10.^o ano de escolaridade, propôs-se as experiências didáticas a explorar, com a ideia de que é fundamental “*o desenvolvimento do espírito investigador, no despertar do sentimento criador daquele que realiza por suas mãos*”³.

Na área *Energia* são inúmeras as possibilidades de construção de equipamentos simples. Assim, recorrendo a material de fácil aquisição construiu-se protótipos de equipamentos e explorou-se a sua utilização didática. Confrontando as interpretações históricas com as atuais, evidencia-se a natureza do conhecimento científico e o carácter dinâmico da ciência.

Os protótipos construídos podem ser melhorados e são a concretização do objetivo deste trabalho: mostrar que para fazer ciência ao nível do secundário não é obrigatório possuir aparelhos dispendiosos e de alta tecnologia.

Com materiais de fácil aquisição foi possível construir equipamentos que permitem a realização de atividades experimentais. A maioria destes equipamentos pode e deve ser construída pelos alunos sob a orientação do docente, tendo em conta os conteúdos leccionados.

Devido ao fato de não ter ficado colocada em nenhuma escola durante o ano letivo em que decorreu a elaboração deste trabalho, não foi possível aplicar em contexto de sala de aula as experiências descritas. Seria enriquecedor ter tido a possibilidade de, em conjunto, construir conhecimento científico e verificar a eficácia do que foi proposto.

Assim, e considerando o contexto em que nos encontramos, o exercício da função Cativar vai, provavelmente, ser adiado. Se leram o livro *O Príncipezinho* de Saint- Exupéry sabem do que se trata. E o professor tem essa função inadiável e intemporal de cativar, independentemente da disciplina que leciona.

³ Rómulo de Carvalho, Gazeta da Física

Lista de Bibliografia

Referências

- [1] *Programa de Física e Química A – 10º ano*. Lisboa, Ministério da Educação-DES,2001.
<http://www.dgicd.min-edu.pt/outrosprojetos/index.php?s=directorio&pid=197#i> (janeiro de 2012)
- [2] Rómulo de Carvalho, *Gazeta da Física*, Vol. 1, Fasc. 2, pg. 39 e 40, Janeiro de 1947
http://www.spf.pt/ficheiros/pdf/gazeta-01-02_0.pdf (janeiro de 2012)
- [3]Richard Feynman, R. Leighton, M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics Vol.1*, 1, Addison-Wesley Publishing Company, California Institute of Technology, 1963
- [4]<http://www.nuffieldfoundation.org/practical-physics/moving-energy-one-thing-another1>
(janeiro de 2012)
- [5] Duarte da Costa Pereira, Jorge Valadares, *Didática da Física e da Química*, Universidade Aberta, 1991
- [6] Shamos, Morris H., *Great Experiments in Physics: Firsthand Accounts from Galileu to Einstein*. Dover Publications, 1987
- [7] Woolnoug, Brian E. , *PRATICE SCIENCE: The role and reality of pratical Work in school science*, Open University Press, Milton Keynes, Philadelphia, 1991
- [8] Maria Teresa Marques de Sá, *Física-10.º ano*, Texto Editora, Lda.,1997
- [9] <http://www.mundoeducacao.com.br/fisica/experiencia-joule> (Janeiro de 2012)
- [10] http://www.feiradeciencias.com.br/sala08/08_30.asp(fevereiro de 2012)
- [11] <http://www.mip.berkeley.edu/physics/C+15+03.html> (janeiro de 2012)
- [12] <http://www.mip.berkeley.edu/physics/C+20+0.html> (janeiro de 2012)
- [13] <http://www.mip.berkeley.edu/physics/C+40+0.html> (janeiro de 2012)
- [14]<http://www.escolavirtual.pt/assets/conteudos/downloads/10fqa/tctmai.pdf?width=965&height=600> (fevereiro de 2012)

- [15] <http://www.mip.berkeley.edu/physics/A+05+15.html> (janeiro de 2012)
- [16] <http://mathworld.wolfram.com/Cycloid.html> (janeiro de 2012)
- [17] <http://mathworld.wolfram.com/BrachistochroneProblem.html> (janeiro de 2012)
- [18] <http://www.youtube.com/watch?v=DfkIgeKmK-g&feature=related> (fevereiro de 2012)
- [19] <http://www.du.edu/~jcalvert/math/parabola.htm> (fevereiro de 2012)

Outra bibliografia consultada

Graça Ventura, Manuel Fiolhais, Carlos Fiolhais, João Paiva, António José Ferreira, *Ciências Físico – Químicas- Física , 10.º ano*, Texto Editora, Lda., 2003.

Rómulo de Carvalho, *A Física no dia a dia, Relógio de Água*, 1995

Jearl Walker, *O grande circo da Física*, Gradiva-Publicações, Lda., fevereiro de 2001

Carlos Fiolhais, *Física Divertida*, Gradiva-Publicações, Lda., maio de 2003

Halliday David, Resnick Robert, *Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica*, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 3.º edição, julho de 1994

Tipler Paulo A., *Física para cientistas e engenheiros, volume 1: Mecânica*, Editora guanabara Koogan S. A., terceira edição, 1994

Tipler Paulo A., *Física para cientistas e engenheiros, volume 2, : Gravitação, Ondas e Termodinâmica*, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., terceira edição, junho de 1991

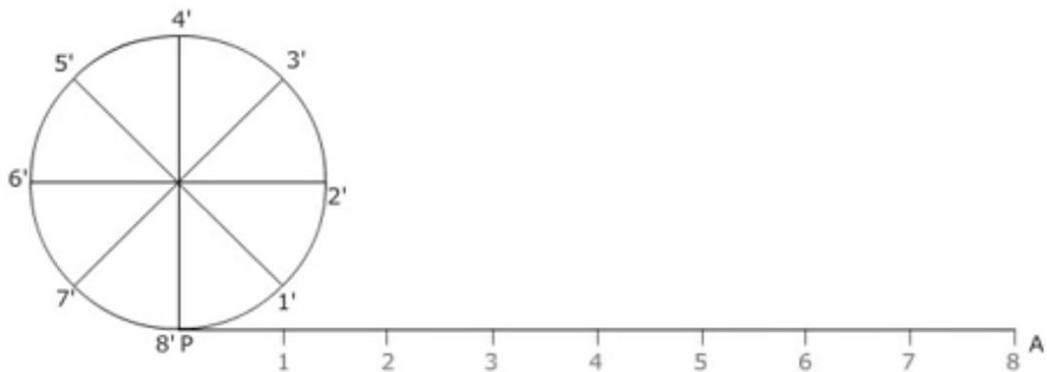
Gribbin John, *História da Ciência, de 1543 ao Presente*, Publicações Europa - América, Lda., maio de 2005

Crump Thomas, *A BRIEF HISTORY OF SCIENCE, As seen through the development of scientific instruments*, Constable & Robinson Ltd, 2002.

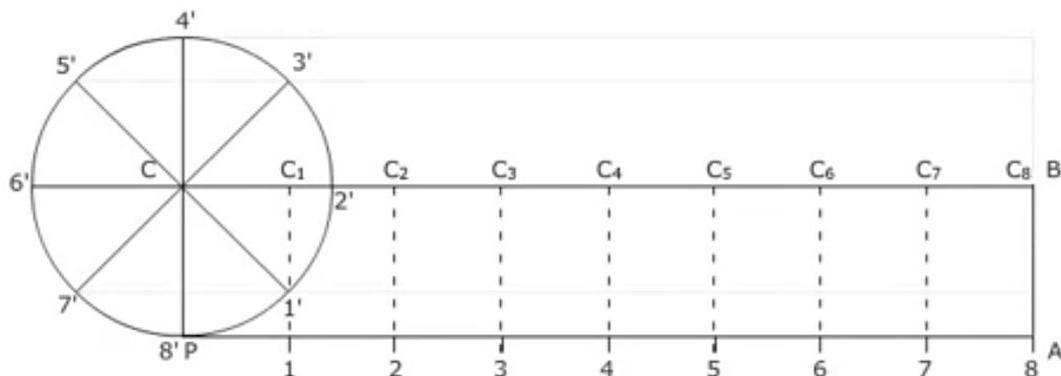
Anexos

1.1. Construção da Cicloide

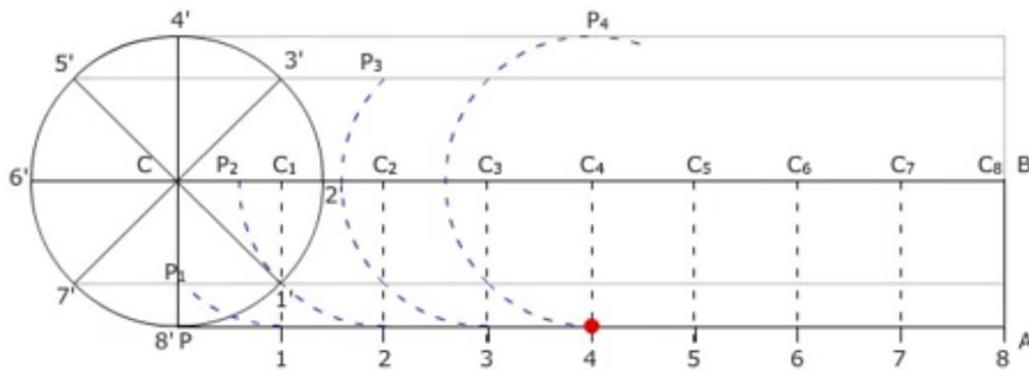
1. Desenhar um círculo com raio **R** e dividir em 8 partes iguais. Numerar esses pontos, 1', 2', 3', 4', 5', 6', 7' e 8'. Marcar o ponto P, em baixo do círculo que será o ponto de referência. Desenhar uma linha (PA) tangente ao círculo no ponto P, cuja distância é igual ao valor da circunferência do círculo. Dividir a linha PA, em 8 partes iguais.



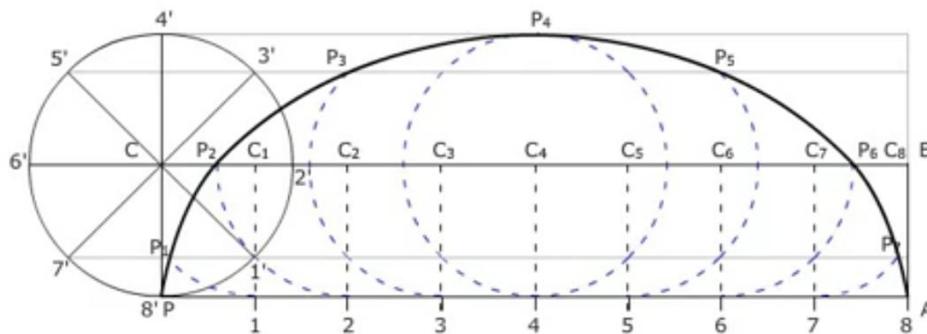
2. Desenhar uma linha CB, paralela e igual a PA, a partir do ponto C. Marcar os pontos C₁, C₂, C₃, C₄, C₅, C₆, C₇ e C₈. Desenhar perpendiculares nos pontos C₁, C₂, C₃, C₄, C₅, C₆, C₇ e C₈.



3. Desenhar linhas paralelas a PA a partir de 1', 2', 3', 4' 8'. Tomar $C_1, C_2, C_3, C_4, \dots, C_8$, como pontos centrais, com r como raio e desenhar arcos passando nos pontos 1', 2', 3', 4' 8' respectivamente, i.e., arco C_1 passa por 1' e por P_1 . Arco C_2 passa pela 2.ª linha e P_2 . E assim sucessivamente até P_8 .



4. Desenhar a curva através dos pontos $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$ e P_8 . Esta curva é a cicloide.



Adaptado de: <http://www.youtube.com/watch?v=DfklgeKmK-g&feature=related>

1.2. Construção da parábola

Um método para desenhar uma parábola é apresentado na figura, sendo AB a amplitude e VD altura.

Prolongar VD para C, sabendo que $VC = VD$. Desenhar CA e CB, que serão as tangentes à parábola nos pontos A e B. Dividir CA e CB em segmentos iguais (8 na figura).

Ligando os pontos, como mostra a figura, desenham-se tangentes adicionais à parábola, o que torna a curva fácil de desenhar à mão.

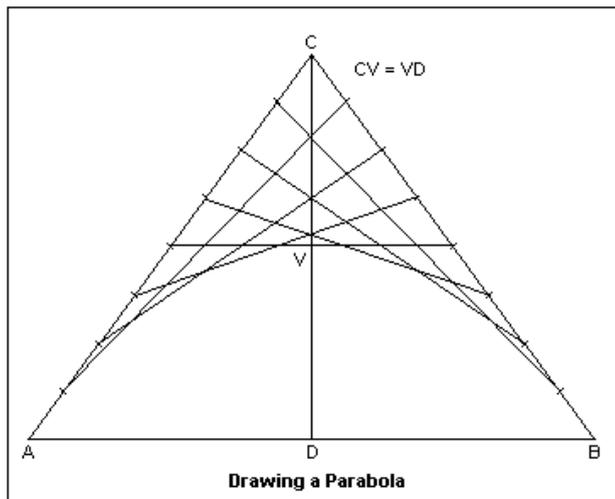


Figura adaptada de <http://www.du.edu/~jcalvert/math/parabola.htm>