



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Faculdade de Ciências

## **Experiências de Termodinâmica na Sala de Aula**

**Ana Paula Alexandre Saraiva**

Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em  
**Ensino de Física e Química no 3º Ciclo do Ensino Básico e no  
Ensino Secundário**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Professor Doutor João Providência

**Covilhã, Outubro de 2012**



# Agradecimentos

Ao Professor Doutor João Providência, pela paciência e disponibilidade que sempre teve para comigo e pelos ensinamentos que me transmitiu.

Aos meus alunos que participaram no clube de ciência não oficial da minha escola e que prescindiram de tempos livre e de “feriados” para irem para os laboratórios realizar algumas das atividades deste trabalho.

À Direção do Agrupamento de Escolas de Pinhel por me ter permitido utilizar os laboratórios.

Ao Diogo e ao Tomás pelos momentos que deixei de passar com eles.

Ao Rui pelo apoio, ajuda e incentivo que me deu.

À minha família por todo o carinho, amor e apoio.

A todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para levar este trabalho até ao fim.



# Resumo

Esta tese foi realizada no âmbito da disciplina de Estágio em Física e Química, do 2º ciclo de estudos em Ensino de Física e Química no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário. A prática de ensino supervisionada já havia sido realizada na Escola E. B. 2,3 de Inês de Castro (Coimbra).

As atividades que constam deste trabalho, na área da Termodinâmica, foram desenvolvidas no âmbito da minha função de professora do grupo 510, no Agrupamento de Escolas de Pinhel (Guarda), com os alunos do 8º ano (Ciências Físico-Químicas) e com os alunos do 10º ano (Física e Química A). Algumas experiências foram realizadas em contexto de sala de aula e outras deram origem à criação de um "clube de ciência" não oficial com um grupo de alunos de 8º e 10º anos, que prescindia de tempos livres para comparecer no laboratório. Algumas das experiências partiram de sugestões dos próprios alunos.

Com o trabalho desenvolvido pretendia-se, para além da transmissão de conhecimentos, inculcar nos jovens alunos a vontade de saber mais, de ir mais além e de gostar da ciência pela ciência. Também era nosso objetivo realçar a importância que a ciência e a tecnologia têm na melhoria das condições de vida do ser humano e incentivar e motivar os alunos para prosseguirem os seus estudos na área das Ciências Naturais.

A realização deste trabalho foi também uma excelente oportunidade para retirar da prateleira alguns aparelhos e instrumentos didáticos antigos que fazem parte do "mini" museu de Física e Química da Escola Secundária de Pinhel. A esmagadora maioria das atividades foi realizada com materiais de baixo custo e de uso corrente (tanto no laboratório como no dia-a-dia) ou mesmo com materiais reciclados ou reutilizados.

Para as várias atividades realizadas procurou-se fazer um enquadramento teórico e são apresentadas as conclusões dos alunos.

A realização desta tese, assim como das atividades científicas e experiências, integra-se num âmbito mais alargado no Clube de Ciência Pêro da Covilhã.

**Palavras-chave:** Termodinâmica, temperatura, atividades laboratoriais, calor, trabalho.



# Abstract

This thesis was developed within the discipline Practicum of Physics and Chemistry, 2nd Cycle of Studies (Master Course) in Teaching Physics and Chemistry in the 3rd Cycle of Basic Education and Secondary Education in Portugal.

The activities contained in this work are in the area of Thermodynamics and were developed as part of my role as a teacher group 510, at the Group of Schools of Pinhel (Guarda), with students of the 8th grade and 10th grade (Physics and Chemistry).

Some experiments were carried out in the context of the classroom and others have led to the creation of a "science club" with a student group of the 8th and 10th years, which used their free time to attend the lab. Some of the experiments started from suggestions from the students themselves.

With the work it was intended, to educate the young students and to develop in them the desire to learn more and also to show them that science should be enjoyed. It was also our aim to highlight the importance that science and technology play in improving the living conditions of human beings and to encourage and motivate students to pursue their studies in the field of Natural Sciences.

This work was also an excellent opportunity to withdraw from the shelf some old teaching apparatus and instruments that are part of the "mini" museum of Physics and Chemistry of Secondary School of Pinhel.

The overwhelming majority of activities were carried out with low cost materials of current use. When possible, we tried to rely on recycled or reused materials. For the various activities we tried to do a theoretical framework and we present the conclusions of the students.

**Keywords:** Thermodynamics, temperature, laboratory activities, heat, work.



# Índice

Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tabelas.....	xv
1. Dilatação térmica dos sólidos.....	1
1.1. Dilatação linear .....	1
1.1.1. Atividades no clube de ciência .....	3
1.1.1.1. Expansão linear utilizando pirômetros .....	3
1.2. Lâmina Bimetálica .....	5
1.2.1. Atividades no clube de ciência .....	8
1.2.1.1. Lâmina papel metalizado.....	8
1.2.1.2. Construir uma lâmina bimetálica usando chapa de alumínio e chapa de cobre. ....	9
1.2.1.3. Detetor de incêndios.....	11
1.2.1.4. Apaga a lâmpada .....	12
1.3. Dilatação superficial dos sólidos .....	13
1.3.1. Atividades no clube de ciência .....	15
1.3.1.1. A moeda e o anel .....	15
1.3.1.2. A esfera e o anel.....	16
1.4. Dilatação volumétrica dos sólidos.....	18
1.4.1. Atividades no clube de ciência .....	19
1.4.1.1. Anel de 's Gravesande.....	19
2. Expansão e contração térmica de líquidos .....	21
2.1. O caso anômalo da água .....	21
2.2. Atividades no clube de ciência .....	22
2.2.1. Expansão de líquidos .....	22
2.2.2. Contração de líquidos .....	24
3. Expansão e contração térmica dos gases .....	25
3.1. Atividades no clube de ciência/aulas .....	25
3.1.1. Ar aquecido .....	25
4. Calor e temperatura.....	27
4.1. Temperatura e energia cinética média .....	27
4.1.1. Lei dos gases perfeitos .....	27
4.2. Relação entre temperatura e energia cinética média.....	28
4.3. Termômetros .....	29
4.3.1. Atividades no clube de ciência .....	31
4.3.1.1. Calor elétrico .....	31
4.4. Utilização de líquidos em termômetros.....	32
4.5. Mecanismos de transferência de energia sob a forma de calor.....	34
4.5.1. Condução térmica.....	34
4.5.1.1. Condutividade térmica.....	35
4.5.2. Atividades no clube de ciência/aulas .....	37
4.5.2.1. Quanto mais aquece mais depressa cai.....	37
4.5.2.2. Fundir depressa e devagar .....	39
4.5.3. Convecção .....	40
4.5.4. Atividades no clube de ciência/aulas .....	41
4.5.4.1. Lava lamp.....	41
4.5.4.2. Vulcão submarino.....	42

5. Trabalho e calor.....	44
5.1. Equivalência entre trabalho e calor .....	44
5.1.1. Máquinas térmicas .....	45
5.1.2. Máquinas térmicas e a 2ª lei da termodinâmica .....	47
5.1.3. Atividades realizadas no clube de ciência/aulas .....	47
5.1.3.1. Máquina térmica 1.....	47
5.1.3.2. Máquina térmica 2.....	48
5.1.3.3. Máquina de Heron .....	51
5.1.3.4. A energia interna do éter aumenta .....	53
5.2. Conversão de trabalho em calor .....	54
5.2.1. Atividades realizadas no clube de ciência/aulas .....	54
5.2.1.1. Rotação provoca explosão.....	54
5.2.1.2. Trabalho de agitação.....	56
6. Radiação. Energia transferida por radiação.....	59
6.1. Corpo negro .....	61
6.2. Atividades no clube de ciência/aulas .....	62
6.2.1. Coletor solar plano.....	62
6.2.2. Radiação provoca fusão.....	66
6.2.3. Aquecer água com lupas .....	67
6.2.4. Utilizar painéis fotovoltaicos para colocar barcos e carros em movimento .....	70
6.2.5. Forno solar .....	72
6.2.6. O termómetro que aquece mais.....	75
6.2.7. Termoscópio de radiação .....	76
6.2.8. Absorção e emissão de radiação.....	78
7. Sólidos termocrómicos .....	81
7.1. Atividades no clube de ciência/aulas .....	81
7.1.1. Amarelo e laranja .....	81
Conclusão .....	83
Bibliografia.....	84



# Lista de Figuras

Figura 1 - Excerto de artigo de jornal .....	3
Figura 2 - Pirómetro de quadrante .....	4
Figura 3 - Pirómetro de quadrante (outro modelo).....	4
Figura 4 - Pirómetro de quadrante após aquecimento da barra metálica .....	5
Figura 5 - Pormenor da agulha e do quadrante graduado após aquecimento.....	5
Figura 6 - Lâmina bimetálica à temperatura ambiente .....	6
Figura 7 - Lâmina bimetálica aquecida .....	6
Figura 8 - Lâminas metálicas para o par bimetálico.....	6
Figura 9 - Metais diferentes sofrem dilatações térmicas diferentes.....	7
Figura 10 - Par bimetálico.....	7
Figura 11 - Posições da lâmina bimetálica à temperatura ambiente e quando é aquecida e arrefecida .....	7
Figura 12 - Material para a lâmina “bimetálica”.....	8
Figura 13 - Aquecimento da lâmina bimetálica .....	9
Figura 14 - Material necessário.....	10
Figura 15 - Construção das lâminas bimetálicas.....	10
Figura 16 - Lâmina bimetálica após o aquecimento .....	10
Figura 17 - Esquema do detetor de incêndios .....	11
Figura 18 - Detetor de incêndios.....	12
Figura 19 - Esquema da montagem .....	13
Figura 20 - Montagem efetuada .....	13
Figura 21 - Um orifício vai expandir quando a placa é aquecida (representação exagerada) .	14
Figura 22 - A mesma régua a duas temperaturas diferentes .....	15
Figura 23 - A moeda e o anel (antes do aquecimento da moeda).....	16
Figura 24 - A moeda e o anel (depois do aquecimento da moeda) .....	16
Figura 25 - Esquema da montagem .....	17
Figura 26 - A massa marcada e o orifício.....	17
Figura 27 - A massa marcada passa pelo orifício.....	17
Figura 28 - Anel de 's Gravesande.....	19
Figura 29 - Após o aquecimento da esfera .....	20
Figura 30 - Expansão térmica de líquidos .....	23
Figura 31 - Dilatação de um líquido por aquecimento .....	24
Figura 32 - Material necessário para a atividade.....	25
Figura 33 - Após o aquecimento.....	26
Figura 34 - Recipiente cúbico contendo um gás ideal.....	28
Figura 35 - Termopar.....	30
Figura 36 - Calibração do termopar .....	31
Figura 37 - Galvanómetro e termopar.....	32
Figura 38 - Termopar e multímetro .....	32
Figura 39 - Termoscópio de Galileu .....	33
Figura 40 - Barra metálica com as extremidades a diferentes temperaturas.....	35
Figura 41 - Sistema com duas barras metálicas idênticas .....	35
Figura 42 - Condução térmica numa barra de comprimento $2\ell$ .....	36
Figura 43 - Utilização de uma vela para “colar” moedas nas hastes .....	38
Figura 44 - Montagem final e espera pelo resultado .....	39
Figura 45 - “Cubos” de gelo sobre uma placa plástica e sobre uma placa metálica.....	40
Figura 46 - Filtro de marcador e álcool benzílico.....	41
Figura 47 - <i>Lava lamp</i> rudimentar .....	42
Figura 48 - Água corada para o vulcão submarino .....	43

Figura 49 - Material para o vulcão submarino .....	43
Figura 50 - Correntes de convecção .....	43
Figura 51 - Esquema da montagem efetuada por Joule para demonstrar a equivalência entre calor e trabalho .....	45
Figura 52 - Representação esquemática de uma máquina térmica .....	45
Figura 53 - Esquema de uma máquina térmica .....	46
Figura 54 - Modelo de máquina térmica .....	48
Figura 55 - Preparativos para a máquina térmica 2 .....	50
Figura 56 - Máquina térmica em funcionamento .....	50
Figura 57 - Outra máquina térmica .....	50
Figura 58 - Esquema da máquina térmica de Heron .....	51
Figura 59 - Máquina térmica de Heron .....	52
Figura 60 - Máquina de Heron feita com bolbo de lâmpada.....	52
Figura 61 - Aumento da energia interna por fornecimento de calor .....	53
Figura 62 - Esquema de conversão de trabalho em calor .....	54
Figura 63 - Banco de rotações e tubo de ensaio contendo éter .....	55
Figura 64 - Material necessário para a fricção do éter .....	56
Figura 65 - Demora, mas aquece! .....	57
Figura 66 - Temperatura inicial da água.....	57
Figura 67 - Temperatura final da água.....	58
Figura 68 - Radiação incidente sobre um corpo .....	59
Figura 69 - “Corpo negro” .....	61
Figura 70 - Intensidade da radiação emitida por um corpo negro .....	61
Figura 71 - Coletor construído por um dos alunos .....	62
Figura 72 - Caixa com esferovite.....	63
Figura 73 - Caixa com esferovite e arames.....	64
Figura 74 - Caixa já forrada com plástico preto.....	64
Figura 75 - O coletor já com o tubo e com o plástico transparente .....	64
Figura 76 - O coletor e o reservatório.....	65
Figura 77 - Coletor solar com um reservatório diferente.....	65
Figura 78 - Material necessário.....	67
Figura 79 - Blocos de esferovite no final da atividade .....	67
Figura 80 - Artigo da revista <i>Super Interessante</i> - setembro 2007 .....	68
Figura 81 - Aquecimento de água .....	69
Figura 82 - Aquecer água com lupa e pregos .....	70
Figura 83 - Jangada solar .....	70
Figura 84 - Carro solar .....	71
Figura 85 - Forno solar .....	72
Figura 86 - Forno solar de para-brisas.....	72
Figura 87 - Primeiro passo da construção .....	73
Figura 88 - Forno solar da caixa aberta refletora .....	74
Figura 89 - Forno de caixa e recipiente com água .....	74
Figura 90 - Qual aquece mais? .....	75
Figura 91 - Termoscópio de radiação.....	77
Figura 92 - Termoscópio com lâmpada de 200 W .....	77
Figura 93 - Pormenor do tubo contendo água corada .....	77
Figura 94 - Esquema da montagem .....	79
Figura 95 - Material e montagem da atividade laboratorial.....	79
Figura 96 - Representação gráfica da variação da temperatura para cada lata.....	80
Figura 97 - Sólido termocrómico (antes e depois do aquecimento) .....	81



# Lista de Tabelas

Tabela 1 - Coeficientes de dilatação linear .....	2
Tabela 2 - Coeficientes de expansão volumétrica de alguns materiais .....	19
Tabela 3 - Valores de condutividade térmica .....	37



# 1. Dilatação térmica dos sólidos

Em geral, os materiais dilatam-se quando são aquecidos (por exemplo, a pressão constante). O fornecimento de energia a um corpo, sob a forma de calor ou sob a forma de trabalho, leva a um aumento da sua energia interna. O fornecimento de calor a pressão constante leva normalmente ao aumento da sua energia interna e ao aumento das distâncias médias entre as partículas constituintes do corpo - átomos, moléculas ou iões; como consequência o volume do corpo aumenta [1].

O aquecimento, em geral, faz com que os sólidos se dilatam em todas as direções; a dilatação linear refere-se à variação do comprimento numa determinada direção. A dilatação superficial refere-se à variação da área da superfície e a dilatação volumétrica refere-se à variação de volume.

No nosso dia-a-dia, todos sabemos que podemos alargar uma tampa metálica apertada de um frasco de vidro colocando a tampa em contato com água quente. O aquecimento da tampa faz com que esta se dilate e a expansão sofrida pelo metal da tampa é maior do que a expansão do frasco e deste modo a tampa solta-se do vidro.

Quando uma obturação dentária é efetuada, o material de enchimento da cavidade deve ter as mesmas propriedades de expansão térmica que o dente circundante. Se assim não fosse, surgiriam espaços por preencher entre o dente e a obturação quando variasse a temperatura e a ingestão de alimentos quentes ou frios causaria a deterioração do dente.

Também no caso do betão armado temos um coeficiente de dilatação do aço próximo do coeficiente de dilatação do betão.

Quando o avião Concorde se desloca com uma velocidade superior à velocidade do som, o seu comprimento aumenta cerca de 12,5 cm [2]. A sua construção teve em conta a dilatação que a fuselagem iria sofrer durante o voo, pois o atrito entre a fuselagem e o ar faz aumentar a sua temperatura.

Os carris dos caminhos-de-ferro apresentam folgas que servem para tomar em conta a sua expansão nos dias em que a temperatura é mais elevada e também nos tabuleiros das pontes existem juntas de dilatação com a mesma finalidade [1].

## 1.1. Dilatação linear

Ao referirmos a dilatação linear de uma haste metálica, interessa-nos o aumento do seu comprimento quando é aquecida.

Considere-se uma barra metálica de comprimento  $\ell$  que se encontra à temperatura  $T$ . Se a barra for aquecida, a sua temperatura sofre um aumento de  $\Delta T$  e o comprimento da barra sofre um aumento de  $\Delta \ell$ . Se a variação de temperatura,  $\Delta T$ , não for muito grande,  $\Delta \ell$  será diretamente proporcional a  $\Delta T$ , podendo relacionar-se pela seguinte expressão [3]:

$$\Delta \ell = \alpha \ell \Delta T \quad (1)$$

sendo  $\alpha$  o coeficiente de dilatação linear ou de expansão linear que apresenta valores diferentes para materiais diferentes. Se duas barras do mesmo material forem sujeitas à mesma variação de temperatura,  $\Delta T$ , mas se uma delas tiver o dobro do comprimento irá experimentar uma variação de comprimento com o dobro do valor, mas a variação relativa de comprimento será a mesma.

O coeficiente de expansão linear é a razão entre a variação relativa do comprimento da barra e a variação de temperatura, de acordo com a equação seguinte:

$$\alpha = \frac{\Delta \ell / \ell}{\Delta T} \quad (2)$$

No Sistema Internacional de Unidades, SI, o coeficiente de expansão linear vem expresso em inverso de kelvin (1/K). Para sólidos e líquidos o valor de  $\alpha$  não é significativamente alterado com a pressão, podendo variar significativamente com a temperatura.

O valor do coeficiente de dilatação linear, a uma determinada temperatura  $T$ , obtém-se fazendo  $\Delta T$  tender para zero, ou seja calculando o seguinte limite:

$$\alpha = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta \ell / \ell}{\Delta T} = \frac{1}{\ell} \frac{d\ell}{dT} \quad (3)$$

Para pequenas variações de temperatura podemos trabalhar com o valor médio de  $\alpha$ , dado por (2).

Na tabela seguinte indicam-se os coeficientes de dilatação linear de alguns materiais.

Material	$T/^\circ\text{C}$	$\alpha / \text{K}^{-1}$
Alumínio	-23	$22,1 \times 10^{-6}$
Alumínio	20	$24,0 \times 10^{-6}$
Diamante	20	$1 \times 10^{-6}$
Vidro	20	$9 \times 10^{-6}$
Pyrex	50	$3,2 \times 10^{-6}$
Gelo	-5	$50,7 \times 10^{-6}$
Aço	-20	$11,7 \times 10^{-6}$

Tabela 1 - Coeficientes de dilatação linear [1]

Considerando uma barra de alumínio com 1 m de comprimento e à temperatura de 20 °C somos levados a concluir que se a sua temperatura aumentar 1 °C o seu comprimento sofre um alongamento de  $24,0 \times 10^{-6}$  m, de acordo com (2) e com a Tabela 1.

### 1.1.1. Atividades no clube de ciência

A dilatação linear de sólidos, no clube de ciência “O laboratório é nosso”, foi introduzida recorrendo ao seguinte artigo de um jornal online:



Figura 1- Excerto de artigo de jornal

Após a leitura da notícia e da análise das respostas à pergunta “Como abrir um frasco de vidro com uma tampa de metal muito apertada?” realizou-se uma atividade simples que permite observar a expansão linear de sólidos.

#### 1.1.1.1. Expansão linear utilizando pirómetros

##### MATERIAL

- Pirómetros de quadrante e respetivas barras metálicas
- Álcool desnaturado

##### PROCEDIMENTO

- Colocar álcool desnaturado no reservatório de cada um dos pirómetros.
- Iniciar a combustão do álcool.

A dilatação linear de um sólido pode ser observada usando um pirómetro de quadrante. Este instrumento foi inventado por Musschenbroek, no século XVII e mais tarde desenvolvido por Becquerel [4].

Este aparelho é constituído por duas hastes metálicas (uma de ferro e outra de cobre), permitindo verificar que metais diferentes sofrem expansões diferentes quando aquecidas de forma semelhante.



Figura 2 - Pirómetro de quadrante

A haste metálica é fixa numa das extremidades por um parafuso sendo a outra extremidade móvel. Quando a haste metálica é aquecida e dilata, a extremidade móvel faz deslocar uma agulha sobre um quadrante graduado. O aquecimento da barra metálica é feito pela energia que se liberta quando ocorre a combustão de álcool que é colocado num reservatório por baixo da barra.

Esta atividade foi realizada recorrendo a dois pirómetros de quadrante que fazem parte do equipamento do laboratório de Física da Escola Sede do Agrupamento de Escolas de Pinhel.



Figura 3 - Pirómetro de quadrante (outro modelo)

Apresentam-se a seguir, imagens dos pirómetros após alguns minutos de aquecimento, sendo possível observar que a posição da agulha se alterou, uma vez que, em contato com a extremidade móvel da barra, foi obrigada a deslocar-se, subindo na escala.



Figura 4 - Pirômetro de quadrante após aquecimento da barra metálica

Quando o aquecimento termina, a barra metálica arrefece e contrai-se, retomando as dimensões primitivas e a agulha regressa à posição inicial.



Figura 5 - Pormenor da agulha e do quadrante graduado após aquecimento

## 1.2. Lâmina Bimetálica

A junção de duas tiras de diferentes metais constitui uma lâmina bimetálica (ou par bimetálico) que ao ser aquecida vai entortar uma vez que os metais apresentam coeficientes de dilatação térmica diferentes.

Na Figura 6 representa-se, de forma esquemática, uma lâmina bimetálica, à temperatura ambiente.

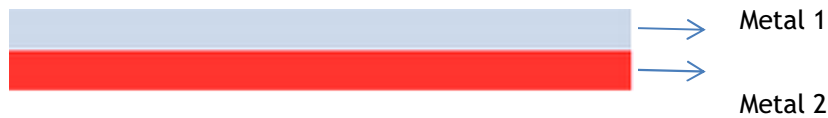


Figura 6 - Lâmina bimetálica à temperatura ambiente

O aquecimento da lâmina vai provocar o seu encurvamento, representado no esquema da Figura 7.



Figura 7 - Lâmina bimetálica aquecida

As lâminas bimetálicas são utilizadas em interruptores elétricos como termóstatos (por exemplo em ferros de engomar e em aquecedores de água) e também em termómetros bimetálicos.

Os ferros de engomar são dispositivos que usam lâminas bimetálicas para que a temperatura se mantenha aproximadamente constante. Quando o ferro aquece, a lâmina encurva, desligando o circuito. A diminuição de temperatura faz a lâmina adquirir a posição inicial, fechando, deste modo, o circuito. Um novo aumento de temperatura leva a que o ciclo se repita. As iluminações de Natal têm, no seu interior, lâminas bimetálicas, que permitem abrir e fechar o circuito elétrico.

Nos termómetros bimetálicos, normalmente uma das extremidades da lâmina é fixa e a outra extremidade, que se deixa livre, vai deslocar-se sobre uma escala graduada. Após correta calibração temos um termómetro bimetálico [5].

Consideramos duas lâminas metálicas, com o mesmo comprimento inicial,  $L_0$ , a uma dada temperatura  $T_0$ , mas de metais diferentes:



Figura 8 - Lâminas metálicas para o par bimetálico

As lâminas encontram-se em contacto térmico e portanto vão ser aquecidas, de tal maneira que cada uma tenha a mesma variação de temperatura. O material da primeira lâmina apresenta um coeficiente de dilatação linear maior do que o material que constitui a segunda, logo, a primeira dilata mais, tal como se ilustra na figura seguinte:



Figura 9 - Metais diferentes sofrem dilatações térmicas diferentes

Se unirmos as duas lâminas temos uma lâmina bimetálica, esquematizada na Figura 10.



Figura 10 - Par bimetálico

Ao aquecermos o conjunto das duas barras, o sistema vai curvar. A curvatura da lâmina bimetálica depende dos coeficientes de dilatação de cada um dos metais e será diferente caso o sistema seja aquecido ou arrefecido.

Consideremos a seguinte lâmina bimetálica obtida pela união de dois metais A e B, com coeficientes de dilatação linear diferentes, de tal modo que  $\alpha_A < \alpha_B$  (Figura 11).

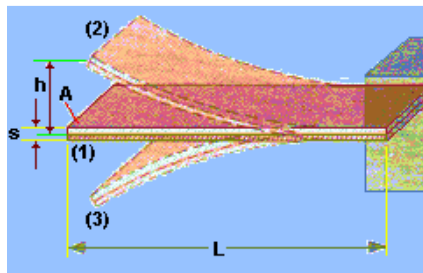


Figura 11 - Posições da lâmina bimetálica à temperatura ambiente e quando é aquecida e arrefecida [6]

Como o coeficiente de dilatação do material A é menor, se a temperatura das lâminas aumentar igualmente, o material A dilata menos do que o material B. Como as duas tiras estão fortemente ligadas uma à outra, o sistema vai curvar para cima, ficando o material com menor coeficiente de dilatação na parte de dentro da superfície curva, isto é, na concavidade do sistema representado na posição 2 da Figura 11.

Uma diminuição de temperatura faz contrair o sistema, e sendo o coeficiente de dilatação de B maior do que o de A, a lâmina B vai contrair mais, isto é, o seu comprimento vai ficar mais reduzido do que o de A. O material A vai ficar na parte convexa do sistema curvo, representado na posição 3 do esquema para  $T < T_0$ .

No fabrico de uma das lâminas do par são usadas ligas de ferro e níquel cujos coeficientes de dilatação linear dependem fortemente da percentagem de níquel. A liga *Invar* tem 64% de ferro e 36% de níquel e deve o seu nome ao facto de ter um coeficiente de expansão térmica muito baixo e portanto praticamente não se expandir sobre a ação do calor, daí vem o nome *Invar* de invariável. O latão e o invar constituem um bom par para a lâmina bimetálica.

A deformação,  $h$ , sofrida pela lâmina da Figura 11, isto é o afastamento da extremidade da lâmina relativamente à posição em que se encontra à temperatura  $T_0$  quando a temperatura varia  $\Delta T$  e a diferença entre os coeficientes de dilatação dos dois metais é  $\Delta\alpha$ , pode ser calculada, de forma aproximada, pela seguinte equação [6]:

$$h = \frac{2L^2}{s} \Delta\alpha \Delta T \quad (4)$$

sendo  $L$  o comprimento inicial da lâmina e  $s$  a sua largura total.

## 1.2.1. Atividades no clube de ciência

### 1.2.1.1. Lâmina papel metalizado

Uma simulação de uma lâmina de dois materiais pode ser feita com o “papel” metalizado de uma embalagem de bombons.

#### MATERIAL

- “Papel” metalizado de uma embalagem de bombons
- Fósforo ou isqueiro
- Lamparina de álcool
- Tesoura

#### PROCEDIMENTO

- Corta duas tiras do papel metalizado de uma embalagem de bombons, com cerca de 5 cm de comprimento e 0,5 cm de largura.
- Aproxima uma das tiras da chama com o lado metalizado para baixo. Deves ter cuidado ao aproximar a chama para que a tira não sofra combustão.
- Aproxima, agora, da chama a outra tira com o lado de papel para baixo.

Apresenta-se, na figura seguinte, o material utilizado pelos alunos para esta atividade.



Figura 12 - Material para a lâmina “bimetálica”

Na figura seguinte é possível verificar que a lâmina de papel metalizado curvou ao ser aquecida.



Figura 13 - Aquecimento da lâmina bimetálica

Os coeficientes de dilatação linear do papel e da parte metalizada da lâmina são diferentes, sendo maior o segundo, o que leva a que a parte metalizada dilate mais ficando na parte exterior da curvatura.

Tal como esperado, esta atividade mostrou que a lâmina encurvou, ficando neste caso o lado de papel na concavidade da curvatura após aquecimento, pois tem um menor coeficiente de dilatação e portanto vai expandir menos.

#### **1.2.1.2. Construir uma lâmina bimetálica usando chapa de alumínio e chapa de cobre.**

Após a realização da atividade anterior, os alunos construíram lâminas bimetálicas de alumínio e cobre, de acordo com o seguinte:

##### **MATERIAL**

- Papel de alumínio autoadesivo
- Fósforo ou isqueiro
- Folha fina de cobre
- Lamparina de álcool
- Tesoura

##### **PROCEDIMENTO**

- Corta uma tira de papel alumínio autoadesivo de aproximadamente 2 cm por 20 cm.
- Cola-a sobre a folha de cobre e corta também a folha de cobre, de modo a ficarem ambas com a mesma dimensão.
- Aproxima a lâmina bimetálica da chama da lamparina.

A folha de cobre que foi utilizada apresenta uma impureza elevada.

As imagens seguintes mostram a sequência da atividade.

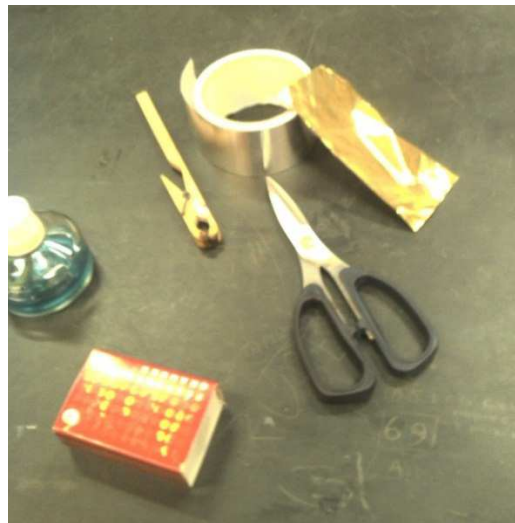


Figura 14 - Material necessário



Figura 15 - Construção das lâminas bimetálicas



Figura 16 - Lâmina bimetálica após o aquecimento

Os coeficientes de dilatação linear do cobre e do alumínio, à temperatura de 20 °C, são  $1,7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  e  $2,4 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ , respectivamente [7]. Como o coeficiente de dilatação do alumínio é maior do que o do cobre, a tira de alumínio vai sofrer uma maior dilatação, curvando a lâmina de maneira a que a tira de cobre fique na concavidade da curvatura.

### 1.2.1.3. Detetor de incêndios

A utilização de uma lâmina bimetálica didática permite a construção de um detetor de incêndios que se esquematiza na Figura 17.

#### MATERIAL

- Lâmina bimetálica
- Fósforo ou isqueiro
- Lamparina de álcool
- Campainha
- Pilha (4,5 V)
- Fios elétricos de ligação

#### PROCEDIMENTO

- Monta o circuito de acordo o esquema.
- Acende a lamparina.

O aquecimento da lâmina, feito pela lamparina, faz curvar a lâmina bimetálica que toca nos fios condutores e fecha o circuito. Estabelece-se, deste modo, uma corrente elétrica no circuito e a campainha toca.

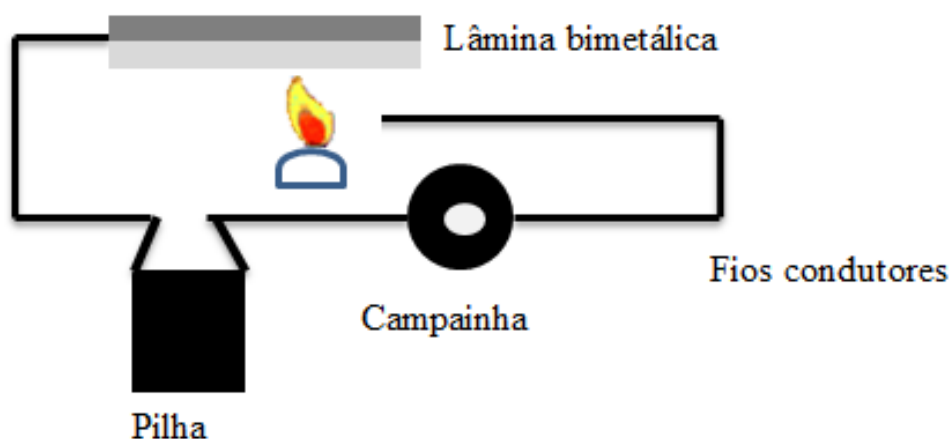


Figura 17 - Esquema do detetor de incêndios

Na Figura 18 encontra-se a montagem do detetor construído pelos alunos no clube de ciência.

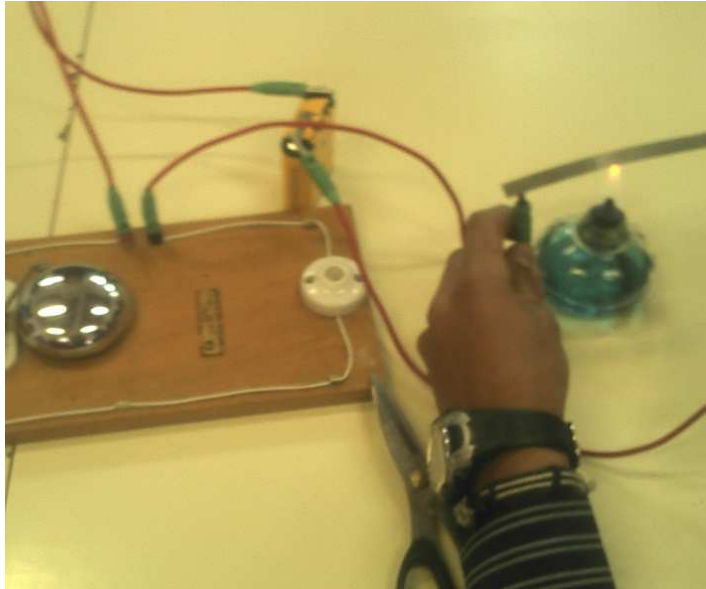


Figura 18 - Detetor de incêndios

#### 1.2.1.4. Apaga a lâmpada

Nesta atividade foi utilizado um termóstato de um ferro de engomar.

##### MATERIAL

- Termóstato
- Lâmpada grande
- Lâmpada pequena
- Pilha (4,5 V)
- Fios elétricos de ligação
- Madeira
- Parafusos

##### PROCEDIMENTO

- Monta o circuito de acordo o esquema (Figura 19).
- Liga a lâmpada grande à tomada da corrente.

Os termóstatos são dispositivos usados em sistemas de aquecimento que necessitam de ter a sua temperatura estabilizada, tais como os ferros de engomar, e podem ser constituídos por lâminas bimetálicas.

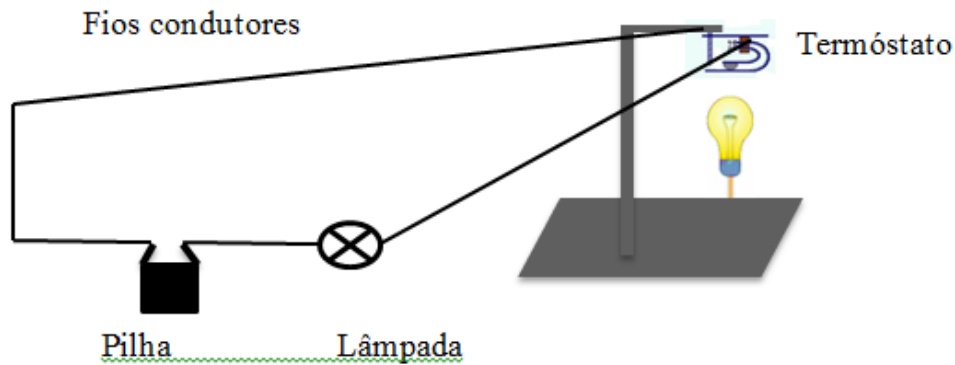


Figura 19 - Esquema da montagem

A lâmpada maior, em funcionamento, vai libertar energia sob a forma de calor que provoca o encurvar do par bimetálico interrompendo o circuito. Como tal, deixa de passar corrente elétrica e a lâmpada mais pequena apaga-se.

A Figura 20 mostra a montagem efetuada.

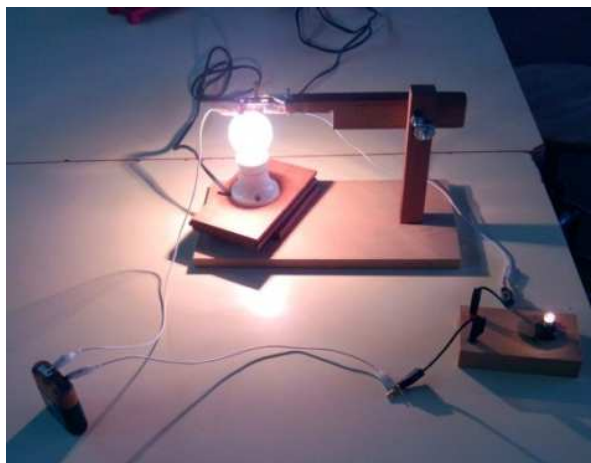


Figura 20 - Montagem efetuada

### 1.3. Dilatação superficial dos sólidos

O coeficiente de expansão superficial,  $\beta$ , define-se como a razão entre a variação relativa de superfície e a variação de temperatura, de acordo com a seguinte equação:

$$\beta = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\frac{\Delta A}{A}}{\Delta T} = \frac{1}{A} \frac{dA}{dT} \quad (5)$$

O coeficiente de expansão superficial, tal como o coeficiente de expansão linear,  $\alpha$ , varia pouco com a pressão, no caso de líquidos e de sólidos, mas pode variar com a temperatura.

Considere-se uma placa retangular de lados  $\ell_1$  e  $\ell_2$ ; a área da sua superfície,  $A$ , é dada por:

$$A = \ell_1 \times \ell_2 \quad (6)$$

A variação de área com a temperatura é dada por:

$$\frac{dA}{dT} = \ell_1 \frac{d\ell_2}{dT} + \ell_2 \frac{d\ell_1}{dT} \quad (7)$$

Substituindo a equação  $\frac{dA}{dT} = \ell_1 \frac{d\ell_2}{dT} + \ell_2 \frac{d\ell_1}{dT}$  (7) na equação (5), vem:

$$\beta = \frac{1}{A} \left( \ell_1 \frac{d\ell_2}{dT} + \ell_2 \frac{d\ell_1}{dT} \right) \quad (8)$$

Como  $A = \ell_1 \times \ell_2$ , temos:

$$\beta = \frac{1}{\ell_1 \times \ell_2} \left( \ell_1 \frac{d\ell_2}{dT} + \ell_2 \frac{d\ell_1}{dT} \right) \quad (9)$$

Assim,

$$\beta = \frac{1}{\ell_2} \frac{d\ell_2}{dT} + \frac{1}{\ell_1} \frac{d\ell_1}{dT} \quad (10)$$

Cada uma das parcelas anteriores é igual ao coeficiente de expansão linear,  $\alpha$ , pelo que se o material for isotrópico podemos escrever:

$$\beta = 2 \alpha \quad (11)$$

Ou seja, o coeficiente de expansão superficial é o dobro do coeficiente de expansão linear.

Colocou-se a seguinte questão aos alunos: “O que acontece a uma chapa metálica e fina com um orifício se for colocada no forno quente?”

A resposta mais dada pelos alunos é que o orifício vai diminuir uma vez que o metal ao expandir vai ocupar o orifício. Pode verificar-se que o orifício não vai diminuir mas sim aumentar. Considere-se a Figura 21 na qual se representa uma placa metálica com um círculo desenhado e uma placa metálica com um orifício.

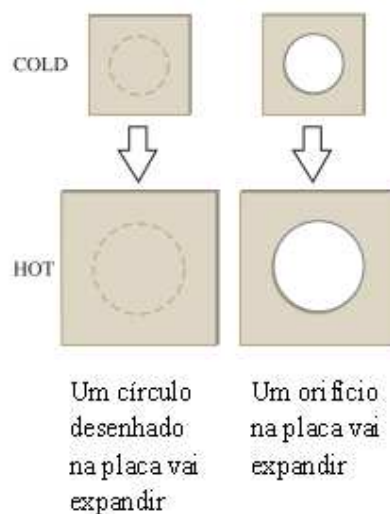


Figura 21 - Um orifício vai expandir quando a placa é aquecida (representação exagerada) [8]

Aquecendo a placa com círculo verifica-se que este aumenta assim como também aumenta o tamanho do orifício da outra placa.

Outro exemplo que pode ser dado, à semelhança do anterior, é o que acontece se aquecermos uma régua metálica com um orifício circular.

A elevação da temperatura da régua pode ser vista como uma ampliação, tal como se ilustra na Figura 22, onde a “ampliação” se encontra exagerada.

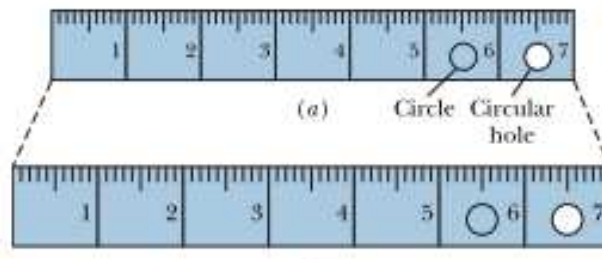


Figura 22 - A mesma régua a duas temperaturas diferentes [2]

O tamanho da régua aquecida é maior, as distâncias entre as marcações, que continuam igualmente espaçadas, são também maiores e o círculo e o orifício circular são também maiores.

### 1.3.1. Atividades no clube de ciência

#### 1.3.1.1. A moeda e o anel

##### MATERIAL

- Moeda
- Anel metálico com um diâmetro ligeiramente superior ao diâmetro da moeda
- Fósforo ou isqueiro
- Lamparina de álcool
- Mola de madeira

##### PROCEDIMENTO

- Coloca a moeda dentro do anel metálico.
- Aquece a moeda na chama da lamparina.
- Tenta passar a moeda pelo anel metálico.

Na Figura 23 encontra-se a moeda dentro do anel antes do aquecimento, sendo possível observar que existe uma ligeira folga entre a moeda e o anel.



Figura 23 - A moeda e o anel (antes do aquecimento da moeda)

O aquecimento da moeda provocou a sua dilatação, pelo que a moeda, agora, encaixa à justa no anel o que se observa na Figura 24.



Figura 24 - A moeda e o anel (depois do aquecimento da moeda)

### 1.3.1.2.A esfera e o anel

#### MATERIAL

- Suporte universal
- Chapa metálica com um orifício circular no centro
- Estufa ou forno
- Esfera de rolamentos ou massa marcada
- Mola de madeira

#### PROCEDIMENTO

- Tenta fazer passar a esfera ou massa marcada pelo orifício da placa metálica que se encontra no suporte, de acordo com o esquema da Figura 25.
- Aquece a placa no forno durante alguns minutos.
- Com cuidado para não te queimares coloca a placa aquecida no suporte.
- Tenta novamente fazer passar a esfera ou massa marcada pelo orifício.

Apresenta-se a seguir o esquema da montagem efetuada.

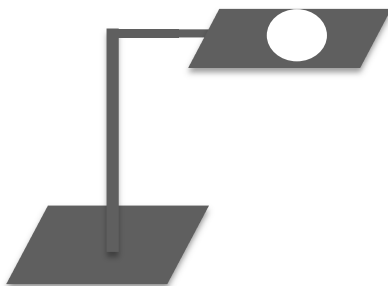


Figura 25 - Esquema da montagem

A massa marcada não passa pelo orifício da placa metálica. Na Figura 26 encontra-se o material e a montagem para a realização desta atividade.

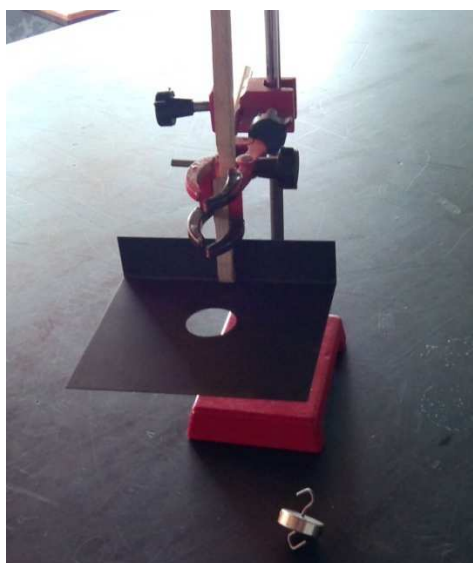


Figura 26 - A massa marcada e o orifício

O aquecimento da placa faz aumentar o diâmetro do orifício pelo que a massa marcada vai, agora, passar pelo orifício (Figura 27).



Figura 27 - A massa marcada passa pelo orifício

## 1.4. Dilatação volumétrica dos sólidos

O coeficiente de expansão volumétrica,  $\gamma$ , define-se como a razão entre a variação relativa de volume e a variação de temperatura, de acordo com a seguinte equação [3]:

$$\gamma = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta T} = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \quad (12)$$

O coeficiente de expansão volumétrica, tal como o coeficiente de expansão superficial e como o coeficiente de expansão linear, varia pouco com a pressão, no caso de líquidos e de sólidos, mas pode variar com a temperatura.

Considere-se um paralelepípedo de lados  $\ell_1$  e  $\ell_2$  e  $\ell_3$ ; o seu volume a uma temperatura  $T$ , é dado por:

$$V = \ell_1 \times \ell_2 \times \ell_3 \quad (13)$$

A variação do volume com a temperatura é dada por:

$$\frac{dV}{dT} = \ell_1 \ell_2 \frac{d\ell_3}{dT} + \ell_1 \ell_3 \frac{d\ell_2}{dT} + \ell_2 \ell_3 \frac{d\ell_1}{dT} \quad (14)$$

Substituindo a equação (14) na (12), vem:

$$\gamma = \frac{1}{V} \left( \ell_1 \ell_2 \frac{d\ell_3}{dT} + \ell_1 \ell_3 \frac{d\ell_2}{dT} + \ell_2 \ell_3 \frac{d\ell_1}{dT} \right) \quad (15)$$

Como  $V = \ell_1 \times \ell_2 \times \ell_3$ , temos:

$$\gamma = \frac{1}{\ell_1 \times \ell_2 \times \ell_3} \left( \ell_1 \ell_2 \frac{d\ell_3}{dT} + \ell_1 \ell_3 \frac{d\ell_2}{dT} + \ell_2 \ell_3 \frac{d\ell_1}{dT} \right) \quad (16)$$

Assim,

$$\gamma = \frac{1}{\ell_3} \frac{d\ell_3}{dT} + \frac{1}{\ell_2} \frac{d\ell_2}{dT} + \frac{1}{\ell_1} \frac{d\ell_1}{dT} \quad (17)$$

Num material isotrópico, cada uma das parcelas anteriores é igual ao coeficiente de expansão linear,  $\alpha$ , pelo que podemos escrever:

$$\gamma = 3 \alpha \quad (18)$$

Ou seja, o coeficiente de expansão volumétrica é o triplo do coeficiente de expansão linear.

Na tabela seguinte indicam-se os coeficientes de expansão volumétrica de alguns materiais a uma temperatura próxima de 20 °C.

Material	$\gamma /K^{-1}$
Alumínio	$75 \times 10^{-6}$
Cobre	$50 \times 10^{-6}$
Ouro	$42 \times 10^{-6}$
Vidro (comum)	$27 \times 10^{-6}$
Pyrex	$9 \times 10^{-6}$
Mercúrio	$180 \times 10^{-6}$
Etanol	$1\,100 \times 10^{-6}$
Glicerina	$500 \times 10^{-6}$
Água	$103 \times 10^{-4}$

Tabela 2 - Coeficientes de expansão volumétrica de alguns materiais [7]

## 1.4.1. Atividades no clube de ciência

### 1.4.1.1. Anel de 's Gravesande

A dilatação volumétrica foi estudada utilizando um modelo do Anel de 's Gravesande existente no laboratório de Física da Escola Sede do Agrupamento de Escolas de Pinhel, que se encontra reproduzido na Figura 28. O anel de 's Gravesande é constituído por uma esfera metálica e um anel, pelo qual passa, à justa, a esfera metálica antes de ser aquecida.



Figura 28 - Anel de 's Gravesande

#### MATERIAL

- Anel de 's Gravesande e respetiva esfera
- Mola de madeira
- Fósforos ou isqueiro
- Lamparina de álcool

#### PROCEDIMENTO

- Faz passar a esfera pelo anel.
- Aquece a esfera durante alguns segundos, com a chama da lamparina. Segura a corrente metálica da esfera com a mola de madeira.
- Tenta passar a esfera pelo anel.

Na figura seguinte mostra-se que a esfera, após o aquecimento, não passa pelo anel. Os alunos concluíram que a esfera tinha sofrido um aumento de volume devido ao aquecimento.



Figura 29 - Após o aquecimento da esfera

## 2. Expansão e contração térmica de líquidos

De uma maneira geral, os coeficientes de dilatação dos líquidos, são superiores aos dos sólidos (Tabela 2), isto é, os líquidos dilatam-se mais do que os sólidos.

Os antigos termômetros de mercúrio e de álcool, cujo funcionamento se baseia nas propriedades termométricas dos líquidos constituintes, mostram que ao serem aquecidos esses líquidos sofrem maior dilatação do que o invólucro de vidro.

O estudo da dilatação dos líquidos segue as mesmas regras que o estudo da dilatação dos sólidos, mas como os primeiros não apresentam forma própria e portanto têm a forma do recipiente em que estão contidos, pode não fazer sentido estudar a sua dilatação linear ou a sua dilatação superficial.

Quando se procede ao aquecimento de um líquido contido num recipiente, o líquido e o recipiente vão dilatar e o que se observa não é apenas a dilatação real do líquido e do recipiente, mas é também a combinação dos dois fenómenos.

Considere-se um recipiente aberto, com uma cavidade de volume  $V_0$ , completamente cheia de líquido; o volume de líquido é também  $V_0$ . O sistema (recipiente + líquido) vai ser aquecido e experimenta uma variação de temperatura  $\Delta T$ . O recipiente fica com um volume interior  $V$  (volume da cavidade), menor do que o volume do líquido (cujo volume também aumentou) e portanto o líquido transborda. O volume de líquido que transborda está relacionado com a dilatação aparente do líquido, uma vez que para além da dilatação real sofrida pelo líquido há que ter em conta também o aumento da capacidade do recipiente.

A dilatação aparente de um líquido depende do material que constitui o recipiente que o contém, não permitindo caracterizar apenas o líquido. O coeficiente de dilatação real de um líquido pode ser definido como a dilatação que experimenta uma unidade de massa desse líquido quando sofre um aumento de temperatura de  $1\text{ }^\circ\text{C}$  [4].

### 2.1. O caso anómalo da água

O comportamento da água, entre  $0\text{ }^\circ\text{C}$  e  $3,98\text{ }^\circ\text{C}$ , é diferente do observado com outros líquidos (e do que é observado com a água a outras temperaturas), uma vez que o volume ocupado por uma amostra de água, nas circunstâncias referidas, diminui com o aumento da temperatura. A  $3,98\text{ }^\circ\text{C}$ , a densidade da água atinge o seu valor máximo de  $1,000\text{ g/cm}^3$ . A temperaturas superiores a  $3,98\text{ }^\circ\text{C}$ , o volume de uma amostra de água aumenta à medida que a temperatura aumenta.

O comportamento anômalo do líquido mais comum tem implicações na vida aquática das regiões mais frias do nosso planeta [1]. Para temperaturas superiores a 4 °C, à medida que a temperatura da água da superfície do rio ou do lago baixa, esta torna-se mais densa e tende a descer. Abaixo dos 4 °C, a água sólida torna-se menos densa do que a água líquida, ficando o gelo na parte superior. Podemos assim dizer que as massas de água congelam de cima para baixo, permitindo a sobrevivência das espécies aquáticas.

## 2.2. Atividades no clube de ciência

### 2.2.1. Expansão de líquidos

A dilatação térmica dos líquidos pode ser observada utilizando materiais simples. Como os alunos do clube de ciência frequentam o 8º ano de escolaridade, optou-se por realizar uma atividade sem a preocupação de medir valores.

#### MATERIAL

- 3 frascos iguais de vidro
- Plasticina
- Palhinhas de refrigerantes transparentes e incolores
- Tina com água quente
- Água, álcool e glicerina
- Caneta/marcador

#### PROCEDIMENTO

- Enche cada frasco com um líquido.
- Tapa os frascos com a rolha perfurada e introduz a palhinha no orifício da rolha.
- Marca o nível inicial do líquido em cada uma das palhinhas.
- Coloca os frascos dentro da tina com água quente.
- Aguarda alguns minutos e com uma caneta marca, sobre a palhinha, o nível atingido pelo líquido.

Observou-se que o álcool etílico foi o que sofreu maior dilatação ao ser aquecido; a seguir foi a glicerina e por fim a água o que vai ao encontro da previsão teórica tendo em conta os coeficientes de dilatação da Tabela 2.

Na Figura 30 e da esquerda para a direita estão os frascos com água, glicerina e etanol.

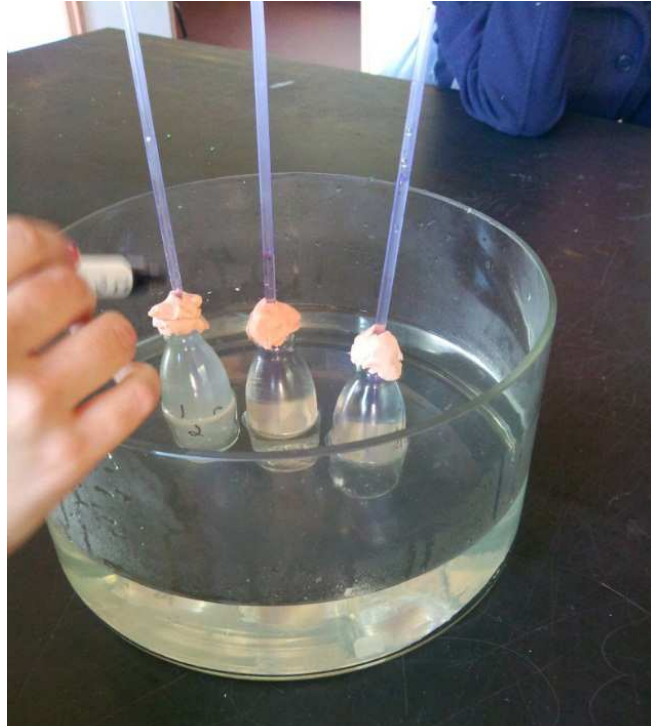


Figura 30 - Expansão térmica de líquidos

Os alunos concluíram, facilmente, que dos três líquidos - água, álcool e glicerina - o álcool é o que sofre maior dilatação ao ser aquecido pois é aquele que atinge uma altura maior na palhinha e que a água é o líquido que dilata menos ao ser aquecido.

A atividade anterior pode ser realizada de maneira a medir-se o coeficiente de dilatação dos líquidos. Para tal, substitui-se a palhinha de refrigerante por uma seringa à que se retirou o êmbolo e coloca-se o frasco numa tina com água que se vai aquecendo e cuja temperatura é monitorizada. A escala graduada da seringa vai permitir medir o volume de líquido. Para variações de temperatura de, por exemplo, 5 °C, mede-se o volume de líquido contido na seringa. O procedimento anterior é repetido para os outros dois líquidos.

Com os valores obtidos traçam-se os gráficos de volume em função da temperatura. O tratamento dos dados anteriores permite obter o coeficiente de dilatação dos líquidos em estudo. (Desprezamos a variação da seringa com a temperatura.)

O coeficiente de dilatação médio do líquido é dado por:

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T} \quad (19)$$

com:

$V_0$ - volume de líquido à temperatura  $T_0$  contido inicialmente no frasco,

$\Delta V$  - variação de volume experimentada pelo líquido,

$\Delta T$  - variação de temperatura.

## 2.2.2. Contração de líquidos

Nesta atividade utilizou-se uma solução de álcool corado para observar a expansão e a contração de líquidos.

### MATERIAL

- Frasco de vidro
- Palhinha de refrigerante
- Tina com água quente
- Tina com água fria
- Álcool etílico
- Corante alimentar
- Plasticina

### PROCEDIMENTO

- Começa por preparar uma solução corada de álcool etílico.
- Enche o frasco com a solução anterior.
- Tapa o frasco com a plasticina introduzindo a palhinha.
- Coloca o frasco dentro da tina com água quente.
- Repete o passo anterior agora com água à temperatura ambiente.

A Figura 31 mostra a expansão sofrida pelo álcool contido no frasco ao ser colocado em banho-maria.

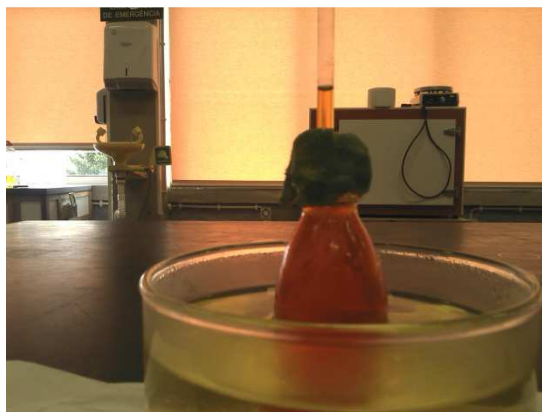


Figura 31 - Dilatação de um líquido por aquecimento

Ao arrefecer o frasco, colocando-o na tina que contém água à temperatura ambiente, foi possível observar que o nível do líquido na palhinha desceu.

## 3. Expansão e contração térmica dos gases

O volume ocupado por uma amostra gasosa depende da pressão e da temperatura a que se encontra.

Se considerarmos uma amostra gasosa contida num recipiente de volume fixo,  $V$ , um aumento de temperatura provoca um aumento da pressão exercida por esse gás. Mantendo a pressão constante, um aumento de temperatura leva a um aumento de volume. Nestas condições, o volume e a temperatura são grandezas diretamente proporcionais.

### 3.1. Atividades no clube de ciência/aulas

#### 3.1.1. Ar aquecido

Esta atividade foi realizada em contexto de sala de aula com os alunos do 8º ano de escolaridade.

##### MATERIAL

- Garrafa de vidro
- Balão de borracha
- Tina com água quente

##### PROCEDIMENTO

- Coloca o balão de borracha no gargalo da garrafa de vidro.
- Introduce o conjunto anterior na tina com água quente.

Na Figura 32 mostra-se o material necessário para a realização da atividade [9].



Figura 32 - Material necessário para a atividade

Alguns segundos depois o conjunto apresentava a seguinte configuração (Figura 33).



Figura 33 - Após o aquecimento

Os alunos concluíram que a água quente vai aquecer o ar contido na garrafa e que este vai expandir-se, aumentando de volume, fazendo esticar o balão de borracha.

Quando o sistema arrefeceu o balão de borracha retomou a configuração inicial.

## 4. Calor e temperatura

Os conceitos de calor e de temperatura prestam-se a interpretações erradas e a concepções alternativas.

Contrariamente ao que se verifica na linguagem corrente que entende calor e temperatura quase como sinónimos, em termos científicos, calor e temperatura têm significados exatos que não se compaginam com o significado ambíguo da linguagem corrente.

Em ciência, calor refere-se à quantidade de energia transferida entre dois sistemas que se encontram a temperaturas diferentes (não envolvendo a realização de trabalho).

O conceito de temperatura está relacionado com a perceção sensorial de quente e de frio [10] e é uma medida da energia cinética interna de um corpo.

### 4.1. Temperatura e energia cinética média

A relação anterior faz-se mais facilmente recorrendo ao conceito de gás ideal ou perfeito.

#### 4.1.1. Lei dos gases perfeitos

Para estudar os gases, considera-se a aproximação de não existirem quaisquer interações entre as suas moléculas, que se comportam como bolas de bilhar em movimento desordenado [1]; apenas há choques entre as moléculas e destas com as paredes do recipiente durante os seus movimentos. Considera-se também que as distâncias médias entre as moléculas gasosas são muito maiores do que as suas dimensões.

No século XVII, Robert Boyle, verificou a existência de uma relação simples entre a pressão,  $p$ , e o volume,  $V$ , ocupado por uma amostra gasosa, em condições de temperatura constante. Matematicamente esta relação pode traduzir-se por:

$$p \propto \frac{1}{V} \quad (20)$$

Se a temperatura não variar, verifica-se:

$$p V = \text{constante} \quad (21)$$

esta relação é conhecida como a lei de Boyle-Mariotte.

No final do século VXII, Charles e Gay-Lussac mostraram que em condições de pressão constante se verifica a seguinte relação:

$$\frac{V}{T} = \text{constante} \quad (22)$$

Tendo em conta as relações anteriores podemos escrever que:

$$p V = c T \quad (23)$$

sendo  $c$  uma constante.

A equação (23) relaciona três grandezas termodinâmicas - pressão, volume e temperatura - e toma o nome de equação dos gases perfeitos ou equação de estado.

Para uma mol de gás, a equação dos gases ideais pode ser escrita da seguinte maneira:

$$p V = R T \quad (24)$$

sendo  $R$  a constante dos gases ideais cujo valor é  $8,31 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ .

Para uma quantidade química de  $n$  mol de gás, a equação pode ser dada por:

$$p V = n R T \quad (25)$$

A equação de estado dos gases ideais pode ser expressa em função do número de moléculas  $N$ , assumindo a forma:

$$p V = N k T \quad (26)$$

sendo  $k = \frac{R}{N_a}$  a constante de Boltzmann e  $N_a$  o número de Avogadro.

## 4.2. Relação entre temperatura e energia cinética média

Consideremos um cubo de aresta  $L$ , contendo uma amostra de gás que se supõe ideal (Figura 34).

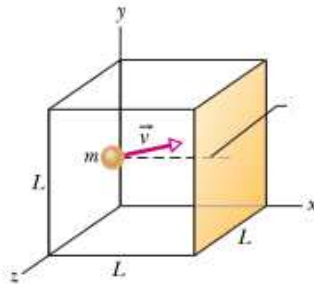


Figura 34 - Recipiente cúbico contendo um gás ideal [2]

As moléculas do gás chocam, de forma elástica, com as paredes do recipiente. No choque de uma molécula de velocidade  $\vec{v}$ , com uma parede perpendicular ao eixo  $xx$  ela sofre uma variação de quantidade de movimento, dada por:

$$\Delta \vec{p} = [(-m v_x) - (+m v_x)] \hat{i} \quad (27)$$

A força que atua na parede é dada por:

$$\vec{F}_P = - \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \quad (28)$$

com  $\Delta t$  igual ao tempo que demora a colisão da molécula com a parede.

Na amostra gasosa não há uma só moléculas mas sim  $N$  moléculas e que  $\langle v_x^2 \rangle$  é o valor médio do quadrado da componente  $x$  da velocidade.

A média destes valores de velocidade obtém-se de acordo com:

$$\langle v_x^2 \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n n_i v_{xi}^2}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (29)$$

Na equação anterior  $n_i$  é o número de moléculas em que a componente  $x$  da velocidade é  $v_{xi}$ .

As três direções são equivalentes pelo que:

$$\langle v_x^2 \rangle = \langle v_y^2 \rangle = \langle v_z^2 \rangle \quad (30)$$

Assim,

$$\langle v_x^2 \rangle = \frac{1}{3} \langle v^2 \rangle \quad (31)$$

uma vez que

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \quad (32)$$

e que

$$\langle v_x^2 \rangle = \langle v_y^2 \rangle = \langle v_z^2 \rangle \quad (33)$$

Para uma molécula a energia cinética média de translação é:

$$\langle E_{cin} \rangle = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k T \text{ (teorema da equipartição de energia)} \quad (34)$$

Então,

$$p V = N k T = \frac{2}{3} N \langle E_{cin} \rangle \quad (35)$$

Das equações (35) e (26), temos que:

$$\langle E_{cin} \rangle = \frac{3}{2} k T \quad (36)$$

a temperatura é uma medida da energia cinética interna média, isto é, é uma medida da energia cinética molecular média.

A relação anterior foi estabelecida para um gás ideal, contudo podemos dizer que para um líquido ou um sólido, a temperatura é também uma medida da sua agitação molecular.

### 4.3. Termómetros

Um termómetro é um dispositivo que permite medir a temperatura a que um corpo se encontra.

Existem vários tipos de termómetros. Os vulgares termómetros de mercúrio e etanol - termómetros de líquidos - utilizam a variação do volume dessas substâncias quando são

aquecidas ou arrefecidas e que pode ser detetada pela altura da coluna atingida pelos líquidos. Dentro de um invólucro de vidro, com uma escala, existe um tubo capilar ligado a um reservatório que contém o líquido termométrico. Quando o termómetro é colocado em contacto com um corpo a uma temperatura superior há transferência de energia do corpo quente para o termómetro, até se atingir o equilíbrio térmico. O líquido do reservatório expande-se e sobe pelo tubo capilar. À altura alcançada pelo líquido corresponde um valor de temperatura que resulta da calibração prévia a que o termómetro foi sujeito.

Os termómetros de gás têm como grandeza termométrica a variação do volume de gás (a pressão constante) ou a pressão exercida pelo gás (a volume constante).

Nos termómetros de resistência elétrica, a grandeza variável é resistência elétrica de um metal, normalmente platina.

Existem termómetros bimetalicos que são constituídos por uma lâmina bimetalica, em espiral, que se curva quando a temperatura varia.

Atualmente existem aparelhos que permitem medir temperaturas que se baseiam no efeito Seebeck - os termopares.

O termómetro termoelétrico ou termopar utiliza o facto de junções de metais ou de ligas metálicas diferentes, sujeitos a temperaturas diferentes originarem uma força eletromotriz.

Quando dois metais diferentes são unidos, em forma de arco, e as suas junções são postas a temperaturas diferentes, verifica-se o aparecimento de uma corrente elétrica de pequena intensidade [11]. A descoberta deste fenómeno fica a dever-se a Thomas Seebeck que o descobriu em 1821 e é denominado de efeito Seebeck, sendo um dos exemplos do efeito termoelétrico em que há conversão de calor em eletricidade [12].

A força-eletromotriz poderá ser medida entre os extremos frios [13], tal como se esquematiza na Figura 35.

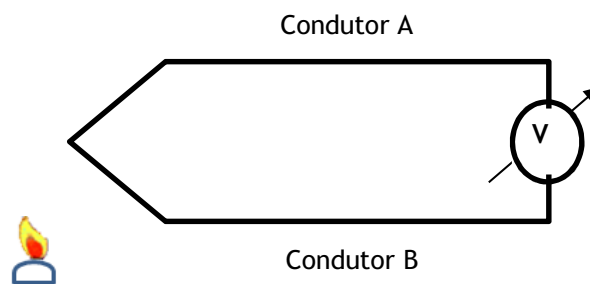


Figura 35 - Termopar

Uma das junções, chamada junção de teste, é colocada em contacto com o objeto cuja temperatura se quer determinar [14]. A outra junção, denominada junção de referência, é

mantida a uma temperatura constante (em geral uma mistura de água-gelo a 0°C). A diferença de potencial depende da diferença de temperatura entre as duas junções e é a propriedade termométrica, sendo medida por um voltímetro, como mostra a Figura 36. A temperatura da junção de teste é obtida usando curvas ou tabelas de calibração.

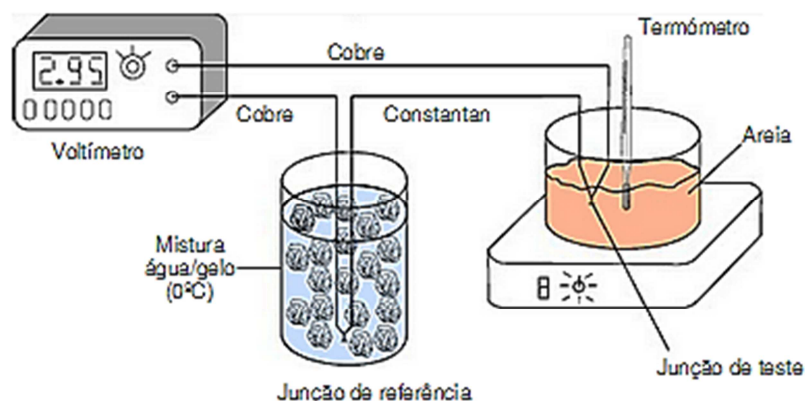


Figura 36 - Calibração do termopar [15]

### 4.3.1. Atividades no clube de ciência

#### 4.3.1.1. Calor elétrico

Esta atividade permite a construção, com materiais acessíveis, de um termopar e de um galvanômetro rudimentar. Como foi realizada com alunos do 8º ano de escolaridade mostrou-se apenas o efeito Seebeck.

#### MATERIAL

- Um fio de cobre e outro de constantan (liga de cobre e níquel) com cerca de 10 cm de comprimento e com a mesma área de secção
- Fio de cobre
- Bússola
- Multímetro digital
- Isqueiro de bolso

#### PROCEDIMENTO

- Une os dois fios por uma das extremidades, enrolando-os.
- Enrola o fio de cobre à volta da bússola (número de espiras igual ou superior a 90). Acabaste de construir um pequeno galvanômetro.
- Liga as pontas do fio de cobre do galvanômetro às pontas livres da junção dos fios de ferro e de cobre.
- Orienta o galvanômetro de modo a que a agulha da bússola fique paralela ao enrolamento.
- Aquece a junção anterior com o isqueiro.
- Se utilizares um multímetro podes ligar as extremidades livres da junção diretamente aos terminais desse instrumento de medida.

O termopar e o galvanómetro utilizados são apresentados na Figura 37.



Figura 37 - Galvanómetro e termopar

Mostra-se, na Figura 38, o termopar ligado ao multímetro.



Figura 38 - Termopar e multímetro

Quando se aquece a junção metálica, a agulha da bússola é desviada indicando a passagem de corrente elétrica. Quanto maior for a temperatura da junção metálica maior será a deflexão sofrida pela bússola.

A utilização do multímetro digital, na função de voltímetro, permite medir o valor da diferença de potencial no circuito. Observaram-se valores de cerca de 50 mV, dentro do esperado [16]. A força eletromotriz termoelétrica aumenta com a diferença de temperatura, atingindo um valor máximo e diminuindo em seguida. Apesar de não ter sido observado, espera-se que o sentido da corrente sofra inversão [17].

#### 4.4. Utilização de líquidos em termómetros

Os termómetros primitivos, ou melhor, os termoscópios eram dispositivos muito rudimentares. Em 1597 Galileu Galilei construiu um termoscópio que se encontra no Museu de Galileu em Florença (Figura 39), um instrumento simples e engenhoso, precursor dos termómetros modernos.



Figura 39 - Termoscópio de Galileu [18]

É constituído por um delgado tubo de vidro com cerca de 15 cm de comprimento, terminando numa das extremidades por uma pequena ampola; a extremidade aberta vai ser imersa num recipiente que contém água. Quando a ampola era arrefecida, o ar que se encontrava no seu interior contraía-se e a água subia pelo tubo de vidro. Quando a ampola era aquecida, o ar contido no seu interior expandia-se e a água descia no tubo, indicando assim uma temperatura mais alta.

Para os médicos da altura poderem avaliar a temperatura de uma pessoa doente, colocavam a ampola na boca de uma pessoa saudável, invertiam o tubo de vidro no recipiente com água e marcavam a altura atingida pela água no tubo. Seguidamente colocavam a ampola na boca da pessoa doente; se o nível atingido pela água fosse mais baixo, a temperatura do doente seria maior e estaria com febre. [4]

Estes dispositivos apresentavam um grave defeito pois eram sensíveis à pressão atmosférica do local onde se encontrava, uma vez que eram recipientes abertos. O líquido termométrico usado (água, etanol e vinho) com o tempo, acabava por evaporar o que se traduzia em leituras pouco exatas.

A Academia del Cimento em Florença (1657-1667) construiu um termómetro com uma haste vertical fechada; os termómetros, contrariamente aos termoscópios, passaram a ser fechados. O ar não era retirado quando se fechava o termómetro. A sensibilidade à pressão atmosférica desaparecia com o tubo de vidro fechado.

Renaldini, membro da Academia del Cimento, propôs a necessidade de se estabelecerem pontos fixos na escala dos termómetros tendo estabelecido para tais pontos o ponto de fusão do gelo e ponto de ebulição da água [4]. Os termómetros eram calibrados usando critérios diferentes (pontos fixos diferentes, líquidos termométricos diferentes e misturas refrigerantes diferentes) o que tornava impraticável a comparação de medidas.

Três das escalas termométricas mereceram aceitação pela classe científica dos séculos XIX e XX: a escala Réaumur, de René-Antoine Ferchault de Réaumur, a escala Fahrenheit, devida a Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736) e a escala Celsius, proposta pelo físico sueco Anders Celsius (1701-1744). A escala proposta por Fahrenheit tinha como pontos fixos a temperatura de uma mistura de água, gelo e cloreto de amónio (0 °F) e a temperatura de corpo humano (100 °F).

Fica a dever-se a Daniel Fahrenheit o termómetro de mercúrio; na sua construção, Fahrenheit utilizava a técnica de ferver o vidro para remover o ar contido no seu interior, antes de selar o invólucro. O termómetro de mercúrio permitia medir temperaturas mais elevadas do que os termómetros de álcool devido ao ponto de ebulição deste ser relativamente baixo (78 °C).

A escala Celsius utiliza os pontos de fusão e de ebulição da água como pontos fixos. A diferença de temperatura entre os pontos de ebulição e de fusão da água, à pressão normal, é de 100 °C.

## **4.5. Mecanismos de transferência de energia sob a forma de calor**

A transferência de energia sob a forma de calor pode ocorrer por três processos: condução, convecção e radiação.

### **4.5.1. Condução térmica**

Se pretendermos aumentar muito a temperatura de uma barra metálica com uma lamparina é conveniente que seguemos a barra com uma pinça de madeira, caso contrário podemos queimar a mão.

O mecanismo de condução térmica pode ser interpretado como o resultado de colisões que ocorrem entre as unidades estruturais da matéria. A extremidade da barra, em contato com a chama da lamparina, apresenta os seus átomos num estado de agitação mais elevado, isto é, a energia cinética interna média desses átomos é maior e ao colidirem com os átomos vizinhos transferem, para estes, parte da sua energia.

No processo de condução térmica, a transferência de energia ocorre por interações, a nível microscópico, de unidades estruturais da matéria sem que ocorra transporte de matéria.

#### 4.5.1.1. Condutividade térmica

Consideremos uma barra metálica de comprimento  $\ell$ , e de área transversal  $A$ , cujas extremidades são mantidas a temperaturas diferentes, sendo  $\Delta T = T_2 - T_1$  a diferença de temperatura entre as extremidades e  $T_1 < T_2$ . As paredes da barra encontram-se termicamente isoladas, de acordo com o esquema da Figura 40. Vai ocorrer transferência de energia, por condução, da extremidade à temperatura  $T_2$  para a outra extremidade.

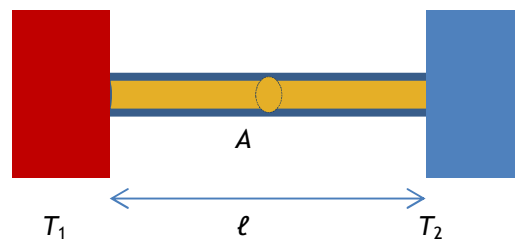


Figura 40 - Barra metálica com as extremidades a diferentes temperaturas

Define-se corrente térmica (ou fluxo de calor),  $H$ , como a quantidade de energia transferida como calor,  $Q$ , por unidade de tempo  $\Delta t$ , de acordo com a equação seguinte:

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (37)$$

No SI, a corrente térmica vem expressa em  $\text{J s}^{-1}$ .

O fluxo de calor por unidade de tempo, numa lâmina, vai depender da diferença de temperaturas,  $\Delta T$ , entre as faces da lâmina, da área das faces,  $A$ , da lâmina, da condutividade térmica e da espessura da lâmina, sendo inversamente proporcional à espessura e diretamente proporcional aos três restantes fatores, de acordo com resultados obtidos experimentalmente.

Consideremos a representação da Figura 40, à qual se acrescenta uma outra barra com as mesmas características da primeira.

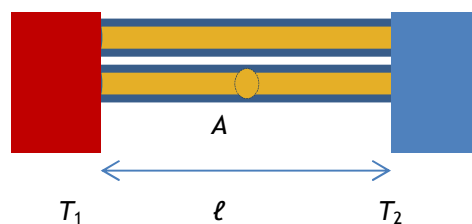


Figura 41 - Sistema com duas barras metálicas idênticas

A adição da segunda barra é equivalente a duplicar a área de seção transversal da primeira barra pelo que, de acordo como atrás exposto, podemos concluir que a quantidade de energia transferida, por unidade de tempo, é dupla daquela que se transfere quando o sistema tem apenas uma barra, uma vez que a corrente térmica é diretamente proporcional à área de seção transversal da barra.

Se o comprimento da barra metálica duplicar, Figura 42, a corrente térmica reduz-se a metade, uma vez que é inversamente proporcional ao comprimento da barra.

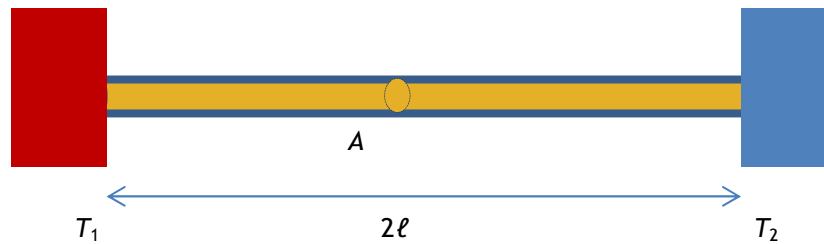


Figura 42 - Condução térmica numa barra de comprimento  $2\ell$

O fluxo de calor depende também do material que constitui a barra metálica, sendo essa dependência traduzida por uma grandeza característica de cada material e que se designa por condutividade térmica.

Os resultados anteriores são traduzidos pela lei de Fourier:

$$H = k A \frac{T_2 - T_1}{\ell} \quad (38)$$

Esta fórmula é aplicável a uma lâmina de área  $A$  e espessura  $\ell$  e  $k$  é a condutividade térmica do material em causa que no SI vem expressa em  $\text{J s}^{-1} \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$  ou  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ .

O quociente  $\frac{T_2 - T_1}{\ell}$  é a diferença de temperatura por unidade de comprimento, também designado por gradiente de temperatura.

Os materiais que apresentam valores elevados de condutividade térmica são considerados bons condutores térmicos; nesta categoria encontram-se os metais. Os maus condutores térmicos apresentam baixos valores de condutividade térmica e são considerados isoladores térmicos. Na seleção de materiais para a construção civil importa ter em consideração a condutividade térmica desses mesmos materiais. Assim, quando o objetivo é minimizar as perdas de energia sob a forma de calor usam-se materiais com baixa condutividade térmica, tais como poliuretano, fibra de vidro, cortiça e ar.

Na tabela seguinte indicam-se os valores da condutividade térmica de alguns materiais.

Material	Condutividade térmica (W/m×K)
Alumínio	205
Cobre	385
Prata	406
Aço	50,2
Latão	109
Cortiça	0,04
Feltro	0,04
Vidro	0,8
Poliuretano (espuma)	0,03
Plásticos	0,03
Madeira	0.04 - 0,12
Gelo	1,6
Ar	0,024

Tabela 3 - Valores de condutividade térmica [8]

O gelo é um bom isolador térmico. Esta propriedade era utilizada pelos esquimós na construção das suas habitações - os igloos - cujo interior é revestido com peles de animais. Dentro de um igloo e com a ajuda de aquecedores mantidos com óleo de foca, a temperatura podia atingir uns confortáveis 3° negativos, muito acima da temperatura exterior.

A condutividade térmica do ar é muito baixa e como tal é considerado um bom isolador térmico. Tira-se partido desta característica nas janelas de vidro duplo. Porém, se a camada de ar for muito grande, o poder de isolador térmico do ar é reduzido pois ocorre o processo de convecção térmica. Para evitar isto o ar é confinado em pequenos grânulos, aglomerados sob a forma de espuma de poliestireno expandido (esferovite), reduzindo a transferência de energia por convecção. As espumas de poliestireno expandido são utilizadas no isolamento térmico de edifícios.

## 4.5.2. Atividades no clube de ciência/aulas

### 4.5.2.1. Quanto mais aquece mais depressa cai

Esta atividade foi realizada em contexto de sala de aula com os alunos do 10º ano para demonstrar que materiais diferentes têm condutividades térmicas diferentes.

#### MATERIAL

- Recipiente metálico com tampa ou lados perfurados
- Copo de precipitação grande
- Disco elétrico de aquecimento
- Hastes de diferentes materiais (cobre, plástico, alumínio, aço e latão)
- Fósforos/isqueiro
- Vela
- Moedas de 1 cêntimo ou pequenos objetos metálicos

#### PROCEDIMENTO

- Coloca água no copo e procede ao seu aquecimento usando o disco elétrico.
- Acende a chama da vela.
- Com cuidado para não te queimares, utiliza a cera fundida da vela para “colar” uma moeda em cada uma das hastes. A posição das moedas, sobre as hastes, deve ser a mesma.
- Coloca a água quente dentro do recipiente metálico e introduz as hastes, às quais se encontram presas as moedas, nos orifícios.
- Aguarda algum tempo até que as moedas se soltem das hastes.

No final da atividade os alunos concluíram que, dos materiais utilizados, o melhor condutor térmico é o cobre porque a moeda que lhe estava acoplada foi a primeira a cair e o material que apresenta pior condutividade térmica é o plástico pois a moeda desta haste foi a última a cair. A seguir, os alunos compararam os resultados obtidos experimentalmente com os valores de condutividade térmica apresentados na Tabela 3, estando o resultado da experiência de acordo com a tabela pois a ordem pela qual as moedas caíram foi a seguinte:

- 1ª moeda - haste de cobre
- 2ª moeda - haste de alumínio
- 3ª moeda - haste de latão
- 4ª moeda - haste de aço
- 5ª moeda - haste de plástico

A sequência da atividade encontra-se a seguir.

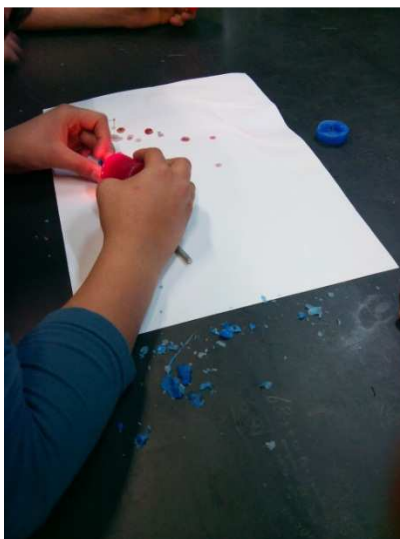


Figura 43 - Utilização de uma vela para “colar” moedas nas hastes

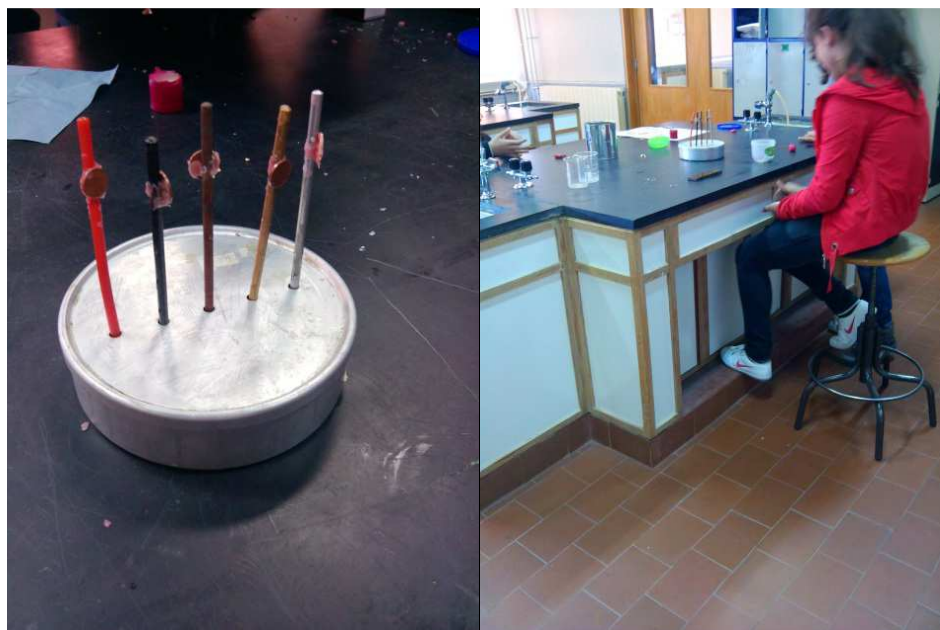


Figura 44 - Montagem final e espera pelo resultado

#### 4.5.2.2. Fundir depressa e devagar

Esta atividade foi realizada pelos alunos do 10º ano nas aulas de Física e Química A, no seguimento da discussão da questão “Porque parece o puxador metálico da porta frio e a madeira não?” [19]

A resposta a esta questão está relacionada com diferença de valores entre a condutividade térmica da madeira e do metal que constitui o puxador, sendo este último muito menor, de acordo com a Tabela 3. O puxador metálico é um bom condutor térmico e, como tal, a transferência de energia da mão para o puxador ocorre rapidamente conferindo a sensação de frio. Como a madeira é um mau condutor térmico, a rapidez com que se transfere energia, da mão para a madeira, é menor e portanto não se percebe a sensação de frio [20].

##### MATERIAL

- Dois cubos de gelo com as mesmas dimensões e à mesma temperatura
- Duas placas, uma de plástico e outra metálica, com o mesmo tamanho e à mesma temperatura

##### PROCEDIMENTO

- Coloca um cubo de gelo sobre a placa de plástico.
- Repete o procedimento anterior para o outro cubo, usando placa metálica.

Na Figura 45 mostra-se o que restou dos dois “cubos” de gelo pouco tempo depois de terem sido colocados sobre as placas, sendo a placa à esquerda de plástico.

Os alunos conseguiram interpretar bem o fato de o gelo fundir mais rapidamente em contato com a placa metálica do que com a placa plástica, uma vez que o metal é melhor condutor térmico e como tal a transferência de energia da placa para o pedaço de gelo será mais rápida provocando a fusão do gelo num menor intervalo de tempo.



Figura 45 - “Cubos” de gelo sobre uma placa plástica e sobre uma placa metálica

### 4.5.3. Convecção

O ar é um exemplo de um mau condutor térmico; porém numa sala com um aquecedor ligado o ar vai aquecer com relativa facilidade, por um processo de convecção térmica que ocorre em fluidos com deslocamento de fluido de uma região para outra do espaço devido ao facto de o ar quente ser menos denso e devido à ação da força de gravidade.

O ar aquecido e insuflado numa divisão de uma casa é um exemplo de convecção forçada [21].

O ar em contato com o aquecedor vai expandir-se, tornando-se menos denso do que o ar frio circundante e sobe devido à força de impulsão. Ao subir, arrefece tornando-se mais denso e desce. Geram-se assim correntes ascendentes de ar quente e descendentes de ar frio - correntes de convecção.

O aquecimento de água contida numa panela dá-se por convecção e por condução térmica junto às paredes, mas o aquecimento da panela ocorre por condução. A água, em contato com a panela aquece e ao aquecer expande, tornando-se menos densa e sobe. Ao subir arrefece, torna-se mais densa e desce. Geram-se assim correntes de convecção na água permitindo o seu aquecimento.

#### 4.5.4. Atividades no clube de ciência/aulas

##### 4.5.4.1. Lava lamp

O *lava lamp* ou *lava light* proporciona um espetáculo colorido e permite observar o mecanismo de transferência de energia por convecção.

###### MATERIAL

- Álcool benzílico
- Marcador
- Copo de precipitação
- 200 mL de solução aquosa de cloreto de sódio (~4,8 %)
- Lamparina
- Tripé e rede de aquecimento
- Frasco de vidro transparente

###### PROCEDIMENTO

- Prepara a solução aquosa de cloreto de sódio e cola-a no frasco de vidro.
- Retira o filtro do marcador e coloca-o no copo de precipitação.
- Adiciona álcool benzílico ao copo e aguarda até que este adquira cor.
- Coloca a solução de álcool benzílico corada no frasco de vidro juntamente com a solução de cloreto de sódio.
- Coloca o frasco sobre a rede e acende a lamparina.

O álcool benzílico e a água são dois líquidos imiscíveis de densidades diferentes. A densidade do álcool benzílico é  $1,05 \text{ g/cm}^3$ , sendo ligeiramente mais denso do que a solução de cloreto de sódio. O álcool benzílico, que se encontra no fundo do frasco, ao ser aquecido dilata e torna-se menos denso, subindo no frasco. Ao subir vai arrefecer e torna-se mais denso, descendo no frasco. Geram-se correntes de convecção no frasco.

Na Figura 46 mostra-se o processo pelo qual se corou o álcool benzílico.



Figura 46 - Filtro de marcador e álcool benzílico

O lava lamp rudimentar está na Figura 47.

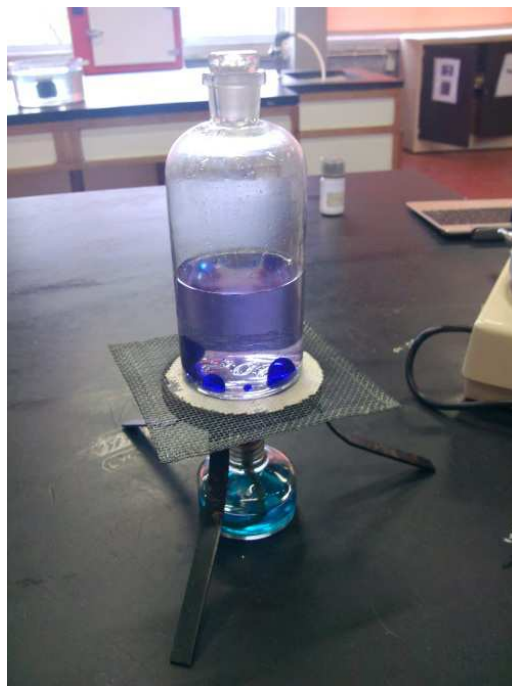


Figura 47 - Lava lamp rudimentar

#### 4.5.4.2. Vulcão submarino

Esta atividade permite observar correntes de convecção num líquido e foi realizada pelos alunos do 10º ano em contexto de sala de aula.

##### MATERIAL

- Recipiente de vidro transparente com água
- Frasco de vidro com tampa furada ou frasco pequeno de gargalo estreito
- Água quente corada
- Fio de pesca

##### PROCEDIMENTO

- Coloca a água quente corada dentro do frasco de vidro.
- Coloca a tampa no frasco e introduz o frasco no recipiente com água à temperatura ambiente.
- Se utilizares o frasco de vidro de gargalo estreito prende o fio de pesca no gargalo do frasco e deixa o frasco cair, na vertical, no recipiente com água, segurando-o com o fio.

A seguir reproduz-se a atividade realizada pelos alunos.



Figura 48 - Água corada para o vulcão submarino



Figura 49 - Material para o vulcão submarino



Figura 50 - Correntes de convecção

A água quente é menos densa do que a água fria. Quando se introduz o frasco com a água quente corada dentro do recipiente de vidro com água, a água corada sobe, proporcionando um bonito espetáculo colorido. Esta corrente ascendente de líquido corado, à medida que sobe, vai arrefecendo tornando o líquido mais denso. Este aumento de densidade faz o líquido corado descer, originando uma corrente descendente. Este movimento ascendente e descendente da água corada ocorre até à mistura das “duas águas” e de modo que as partículas do corante estejam distribuídas uniformemente. Neste ponto, a água contida no recipiente vai apresentar a cor uniforme associada ao corante utilizado e toda a água está à mesma temperatura [22].

## 5. Trabalho e calor

Nos finais do século dezoito, o químico francês Lavoisier incluía a luz e o calórico na lista dos elementos químicos conhecidos [23]. Na altura pensava-se que o calórico era uma substância existente no fogo com a capacidade de fluir dentro da matéria, aquecendo-a, e que passava dos corpos quentes para os corpos frios. A quantidade desse fluido mágico - o calórico - cedida pelo corpo quente seria igual à quantidade recebida pelo corpo frio, obedecendo assim a uma lei de conservação [24]. A teoria do calórico foi aceite durante quase meio século.

Benjamin Thompson (conde de Rumford) e inspetor de artilharia verificou que as brocas usadas na perfuração de peças de bronze para a construção de canhões, ao serem introduzidas em tanques de água para arrefecerem, faziam ferver a água [25]. Foi possível ferver água através de fricção, sem recurso a fogo algum. Nas palavras de Benjamin Thompson “calor não deve ser mais do que um movimento vibratório entre as partículas dos corpos”.

### 5.1. Equivalência entre trabalho e calor

James Prescott Joule realizou várias experiências com o objetivo de demonstrar a equivalência entre calor e trabalho, permitindo demonstrar que é possível aumentar a energia interna quer pelo fornecimento de calor quer pelo fornecimento de trabalho.

Na Figura 51 apresenta-se o esquema da montagem efetuada por Joule. Este esquema foi apresentado num artigo publicado em 1850 no jornal *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.

Joule colocou, num recipiente termicamente isolado, uma certa quantidade de água e com um termómetro mediu a sua temperatura. No interior do recipiente e em contacto com a água encontrava-se um sistema de pás ligado a um sistema de pesos; quando este último sistema cai, as pás começam a rodar e a água vai aquecendo, provando assim que trabalho mecânico tal como o calor também leva ao aumento da energia interna e da temperatura. A experiência de Joule permitiu aumentar a energia interna da água por realização de trabalho.

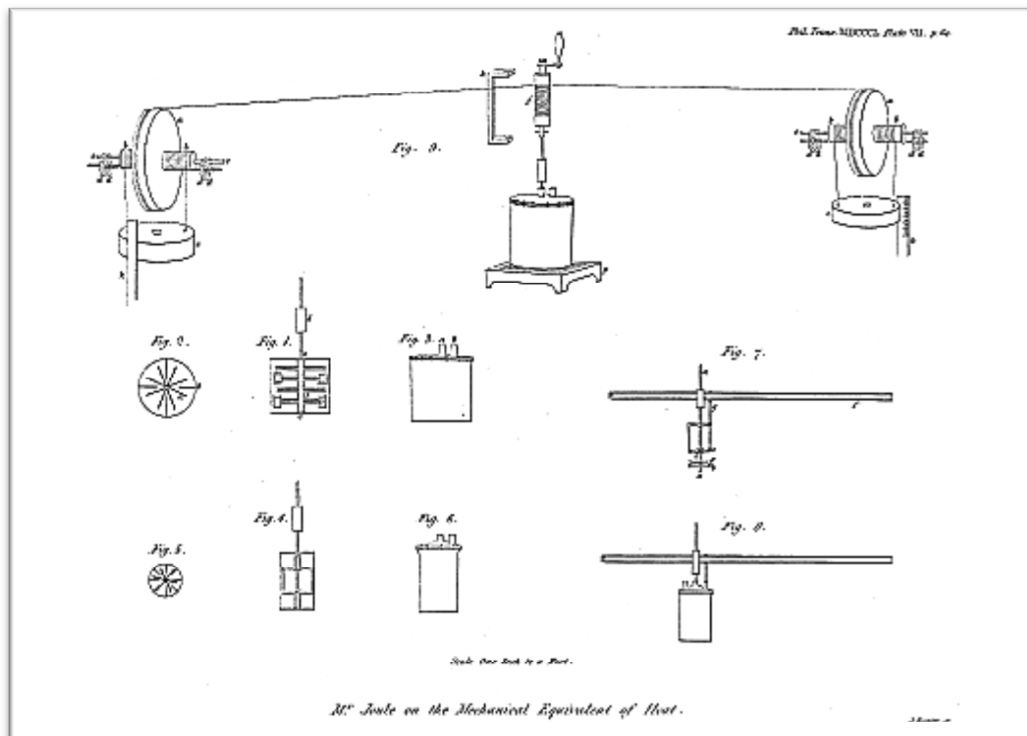


Figura 51 - Esquema da montagem efetuada por Joule para demonstrar a equivalência entre calor e trabalho [26]

### 5.1.1. Máquinas térmicas

São máquinas que funcionam com fornecimento de energia sob a forma de calor e realizam trabalho. Estas máquinas usam a “força motriz do calor”.

Esquemáticamente podemos representar uma máquina térmica por:

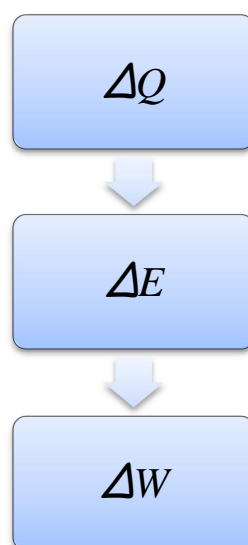


Figura 52 - Representação esquemática de uma máquina térmica

com:

- $Q = Q_H - Q_C$  - energia fornecida como calor;
- $Q_H$  - calor absorvido do reservatório quente;
- $Q_C$  - calor cedido ao reservatório frio;
- $\Delta E$  - variação de energia interna;
- $W$  - trabalho realizado.

Uma máquina térmica permite a realização de trabalho, a partir de um fluxo de energia sob a forma de calor entre duas fontes a temperaturas diferentes. Há um fluxo espontâneo de energia, sob a forma de calor da fonte a temperatura mais elevada - fonte quente - para a fonte a temperatura mais baixa - fonte fria [27].

A Figura 53 representa uma máquina térmica evidenciando as fontes quente e fria.

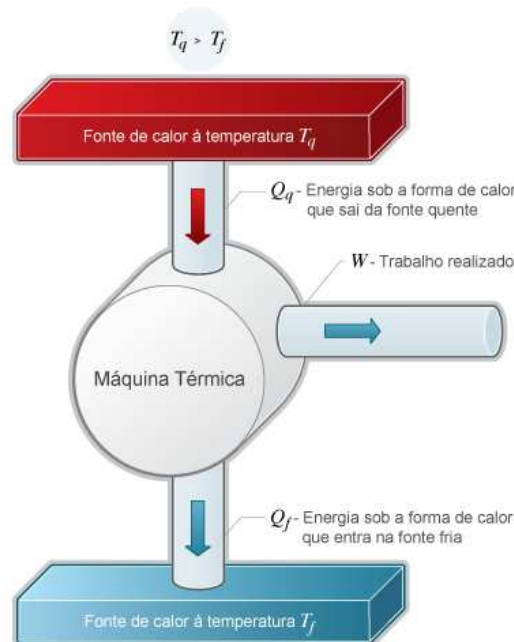


Figura 53 - Esquema de uma máquina térmica [28]

Considere-se uma máquina a vapor em que um cilindro se desloca devido à expansão do gás no seu interior; essa expansão é causada pela energia proveniente do aquecimento de água numa caldeira (fonte de energia sob a forma de calor - fonte de calor). O movimento do cilindro corresponde à energia que é convertida em trabalho. Porém, uma parcela da energia recebida da fonte quente não é transformada em trabalho passando por condução térmica e através de correntes de convecção para os arredores da máquina (fonte com temperatura inferior - fonte fria).

O trabalho fornecido pela máquina,  $W$ , é igual à diferença das energias trocadas sob a forma de calor:

$$W = |Q_q| - |Q_f| \tag{39}$$

## 5.1.2. Máquinas térmicas e a 2ª lei da termodinâmica

A primeira lei da termodinâmica relaciona as energias que entram ou saem de um sistema, através da sua fronteira, com a variação da sua energia interna,  $E$ .

Para um sistema não isolado, a variação da sua energia interna é dada por:

$$\Delta E = Q + W \quad (40)$$

com:

$\Delta E$  - variação de energia interna do sistema;

$Q$  - energia fornecida ao sistema sob a forma de calor;

$W$  - energia fornecida ao sistema sob a forma de trabalho.

De acordo com a primeira lei é possível transformar calor em trabalho e trabalho em calor.

É muito fácil converter trabalho em calor. Por exemplo, para elevar um tijolo de massa  $m$  desde o solo até à altura  $h$ , realiza-se trabalho dado por  $mgh$ . Se o tijolo for largado e cair até ao ponto de partida, parte da energia que lhe foi fornecida vai ser dissipada sob a forma de calor (e uma pequena parte em energia sonora), durante a queda e quando o corpo atinge o solo. Se friccionarmos duas pedras mergulhadas em água o trabalho realizado é transformado em calor. No entanto, a conversão de calor em trabalho é muito mais difícil, sendo impossível a conversão completa do calor em trabalho, sem que haja outros efeitos, de acordo com o postulado de Lord Kelvin [29] que se pode enunciar pelo seguinte: “É impossível um processo cujo único resultado seja a conversão completa calor em trabalho” [30].

Se tal não se verificasse, era possível a construção e a existência de uma máquina térmica que transformaria em trabalho a energia recebida, sob a forma de calor, do exterior. Esta máquina poderia produzir uma quantidade de trabalho infinita.

Embora a primeira lei estabeleça a equivalência entre calor e trabalho, a segunda lei da termodinâmica diz-nos que é impossível transformar completamente calor em trabalho. Aplicando isto às máquinas térmicas podemos dizer que “nenhuma máquina térmica se limita a extrair calor e a produzir trabalho” [1].

## 5.1.3. Atividades realizadas no clube de ciência/aulas

### 5.1.3.1. Máquina térmica 1

Esta foi a primeira das atividades realizadas sobre máquina térmicas. Usou-se um modelo de máquina térmica simples existente no laboratório de Física da Escola Sede do Agrupamento de Escolas de Pinhel. Esta é constituída por um balão de vidro de fundo redondo com rolha perfurada onde se encontra um tubo de vidro. Preso à rolha do recipiente, por meio de um arame, encontra-se uma pequena turbina metálica.

#### MATERIAL

- Modelo de máquina térmica
- Água corada
- Lamparina
- Suporte universal

#### PROCEDIMENTO

- Coloca água corada no recipiente de vidro da máquina térmica.
- Prende a máquina térmica no suporte universal, colocando a lamparina por baixo.
- Acende a lamparina.

Na Figura 54 mostra-se a montagem feita na atividade acima referida.

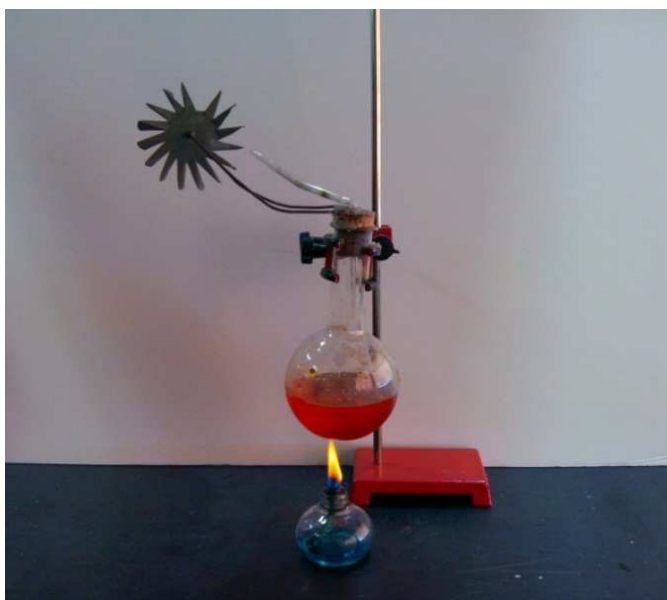


Figura 54 - Modelo de máquina térmica

A água corada tem a finalidade de tornar a ebulição mais evidente, contudo esta atividade pode ser feita usando água sem a adição de corante.

A lamparina acesa cede energia à água contida no recipiente constituindo a fonte quente. A água líquida passa ao estado gasoso e o vapor assim formado é conduzido pelo tubo de vidro fazendo girar a turbina [31].

#### **5.1.3.2. Máquina térmica 2**

Esta atividade foi feita usando material de uso corrente, tal com um pedaço de madeira, arame, velas e latas de produtos alimentares. A utilização destes materiais permitiu construir um instrumento didático e a reutilização desses materiais.

### MATERIAL

- Lata cilíndrica pequena com tampa
- Pregos de ferro grandes (4)
- Água
- Velas pequenas (4)
- Arame
- Pequeno círculo de esferovite
- Martelo
- Base de madeira (aproximadamente 15 cm × 20 cm)
- Tubo de vidro fino (tubo de conta-gotas)
- Lata de conserva e respetiva tampa
- Fósforos

### PROCEDIMENTO

- Coloca água corada no recipiente de vidro da máquina térmica.
- Prende a máquina térmica no suporte universal, colocando a lamparina por baixo.
- Acende a lamparina.
- Aguarda até à ebulição da água.

A lata cilíndrica vai funcionar como caldeira onde se coloca a água. Na tampa da lata faz-se um pequeno orifício onde se coloca o tubinho do conta-gotas que vai permitir a saída do vapor de água. O suporte da caldeira é feito espetando os pregos na base de madeira de modo a ficarem ligeiramente inclinados.

O aquecimento da água é feito com as velas que são colocadas na lata de conserva, usando um pouco da sua cera para as fixar.

Para a construção da turbina usou-se um círculo de esferovite ao qual se acoplaram pequenos retângulos feitos com a tampa da lata de conserva e que vão funcionar como pás rotativas. A turbina é fixa na base de madeira com o arame.

A Figura 55 mostra os preparativos para a construção da máquina térmica.



Figura 55 - Preparativos para a máquina térmica 2

Após a montagem, acenderam-se as velas e a máquina térmica entrou em funcionamento de acordo com os mesmos princípios da máquina térmica 1 (atividade anterior).

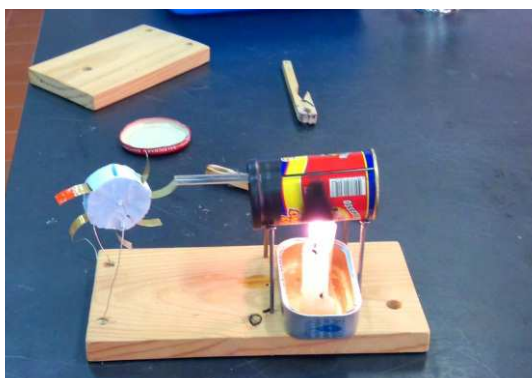


Figura 56 - Máquina térmica em funcionamento

Na Figura 57 mostra-se outra máquina térmica.



Figura 57 - Outra máquina térmica

### 5.1.3.3. Máquina de Heron

Esta atividade pretende recriar a primeira máquina térmica - a Eolípila - utilizada para realizar trabalho. Esta foi construída por Heron de Alexandria (século I d.C.) e representa-se esquematicamente na Figura 58.



Figura 58 - Esquema da máquina térmica de Heron [32]

O aquecimento da água contida na caldeira produz vapor que é expelido pelos tubos originando um binário de forças que obriga a esfera a rodar.

#### MATERIAL

- Matraz
- Rolha de cortiça para o matraz com dois orifícios
- Tubo metálico estreito dobrado fazendo um ângulo de 90 ° (2)
- Água
- Fósforos
- Lamparina
- Suporte
- Arame flexível
- Parafuso

#### PROCEDIMENTO

- Coloca água no matraz.
- Enrosca o parafuso na rolha do matraz entre os dois orifícios.
- Coloca os dois tubos metálicos nos orifícios da rolha.
- Prende o arame no parafuso.
- Suspende o conjunto, pela extremidade livre do arame no suporte.
- Coloca a lamparina por baixo do matraz e acende-a.

Na Figura 59 mostra-se a máquina construída.



Figura 59 - Máquina térmica de Heron

A réplica da máquina térmica de Heron pode ser feita usando um bolbo de uma lâmpada de incandescência, tal como se mostra na Figura 60.



Figura 60 - Máquina de Heron feita com bolbo de lâmpada

#### 5.1.3.4. A energia interna do éter aumenta

Nesta atividade procede-se ao aumento da energia interna de uma amostra de etoxietano, também conhecido como éter comum, por aquecimento com água quente.

##### MATERIAL

- Tubo de ensaio com rolha
- Mola de madeira
- Termómetro
- Éter
- Tina de vidro/copo com água quente
- Água
- Placa elétrica de aquecimento

##### PROCEDIMENTO

- Coloca água na tina e aquece-a até cerca de 60 °C.
- Coloca éter no tubo de ensaio e tapa o tubo com a rolha.
- Segura o tubo com a mola de madeira.
- Mergulha o tubo na água quente da tina até que a rolha salte.

Esta atividade permite mostrar que ocorreu transferência de energia, sob a forma de calor, da água para o éter, aumentando a energia interna do último, cujo ponto de ebulição, à pressão atmosférica normal é de 35 °C. A energia fornecida provoca um aumento da pressão de vapor do éter e como consequência a rolha salta. O sistema vai expandir-se, realizando trabalho sobre o exterior.

Na Figura 61 mostra-se o tubo de ensaio colocado no copo de água quente.



Figura 61 - Aumento da energia interna por fornecimento de calor

Na atividade 5.2.1.1 (Rotação provoca explosão) produz-se um aumento da energia interna do éter por realização de trabalho.

## 5.2. Conversão de trabalho em calor

A variação da energia interna de um sistema é igual à soma das transferências de energia, sob a forma de trabalho e sob a forma de calor, do exterior para o sistema.

Acender um fósforo por fricção com a lixa da caixa ilustra uma transformação de trabalho em calor e pode ser representada pelo seguinte esquema:

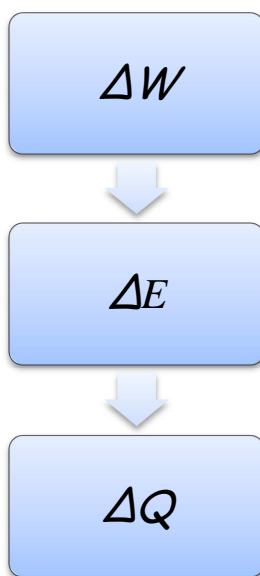


Figura 62 - Esquema de conversão de trabalho em calor

com:

$Q$  - energia fornecida sob a forma de calor

$\Delta E$  - variação de energia interna;

$W$  - trabalho realizado.

A fricção mecânica desencadeia uma reação química exotérmica (combustão) com libertação de energia sob a forma de calor.

### 5.2.1. Atividades realizadas no clube de ciência/aulas

#### 5.2.1.1. Rotação provoca explosão

Nesta atividade a realização de trabalho vai provocar o aumento da energia interna de uma amostra de éter dimetilico [33].

### MATERIAL

- Tubo de ensaio com rolha
- Termómetro
- Éter
- Banco de rotações
- Pedaco de tecido (feltro)

### PROCEDIMENTO

- Coloca o éter no tubo de ensaio e tapa-o com a rolha.
- Coloca o tubo no banco de rotações.
- Faz rodar o tubo mantendo o feltro apertado até que a tampa se solte do tubo.

A Figura 63 ilustra a montagem efetuada.



Figura 63 - Banco de rotações e tubo de ensaio contendo éter

Esta atividade, tal como foi realizada, não permitiu obter os resultados esperados. O suporte do tubo de ensaio existente no banco de rotações não se encontrava nas melhores condições impedindo que o tubo rodasse da maneira adequada para que a fricção com o feltro fosse eficaz. Assim, não foi possível fazer com que a rolha saltasse do tubo de ensaio.

Em alternativa, os alunos sugeriram que o tubo de ensaio com o éter fosse friccionado no pedaco de feltro. Para minimizar a transferência de energia sob a forma de calor, das mãos para o tubo, os alunos usaram umas luvas, tal como a Figura 64 mostra.



Figura 64 - Material necessário para a fricção do éter

Após várias tentativas os resultados continuaram a não ser satisfatórios, uma vez que a rolha não saltava do tubo de ensaio.

Medindo a temperatura da amostra de éter, antes e depois da fricção, foi possível verificar que esta sofria um aumento, tendo passado de 24,5 °C para 29,5 °C.

Ao friccionar o feltro realiza-se trabalho. A força de atrito realiza um trabalho negativo que vai implicar o aumento da energia interna do feltro e dos materiais em contato com ele. O aumento de energia interna está associado a um aumento de temperatura, o que vai implicar a transferência de energia como calor para o éter.

O éter apresenta um ponto de ebulição de 35 °C, à pressão de uma atmosfera. Devido à fricção, que implica a realização de trabalho, o éter recebe energia e a sua energia interna aumenta, aumentando a sua temperatura. O vapor de éter formado provoca um aumento da pressão de vapor que deveria ter feito saltar a rolha do tubo de ensaio.

#### **5.2.1.2. Trabalho de agitação**

Não sendo muito viável, o método seguinte permite aquecer uma pequena quantidade de água e provocar-lhe um ligeiro aumento de temperatura. Trata-se, contudo, de um processo moroso que consegue provocar mau humor nos intervenientes da Figura 65.



Figura 65 - Demora, mas aquece! [34]

**MATERIAL**

- Garrafa termo com a respetiva tampa
- Termómetro
- Água (~100 mL)

**PROCEDIMENTO**

- Coloca a água na garrafa-termo e mede a sua temperatura (deixando estabilizar a leitura).
- Tapa a garrafa-termo.
- Agita a garrafa-termo de forma bastante energética, durante alguns minutos.
- Mede a temperatura da água.

A Figura 66 mostra o material utilizado, sendo possível verificar que a temperatura inicial da amostra de água era de 18,7 °C.



Figura 66 - Temperatura inicial da água

Após agitação vigorosa durante alguns minutos, a temperatura da amostra de água atingiu os 19,1 °C, tal como se indica na Figura 67.



Figura 67 - Temperatura final da água

Suponhamos que a água contida na garrafa era um cilindro de gelo. Iria existir energia cinética dissipada em calor pelo atrito entre o gelo e as paredes. Com a água na fase líquida também há atrito devido à viscosidade.

## 6. Radiação. Energia transferida por radiação

Todos os corpos emitem radiação térmica. O aquecimento de alimentos no micro-ondas, o aquecimento da superfície lunar e o aquecimento da Terra ocorrem por radiação.

A radiação solar é importante para os seres vivos (plantas e animais).

No esquema da Figura 68 representam-se os fenómenos que ocorrem quando há incidência de radiação sobre um corpo.

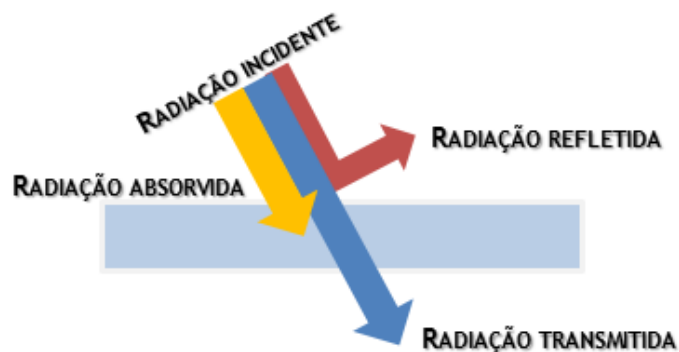


Figura 68 - Radiação incidente sobre um corpo

Da radiação incidente, uma parte vai ser refletida pela superfície do corpo, outra parte vai ser absorvida pelo corpo (aumentando a sua energia interna) e a restante energia pode atravessar o corpo, sendo transmitida. Neste último caso dizemos que o corpo é transparente a essa radiação. Se o corpo não se deixa atravessar por uma dada radiação diz-se opaco a essa mesma radiação. A maior ou menor prevalência de um dos fenómenos atrás referidos vai depender das propriedades do corpo.

A nossa estrela - o Sol - emite doses massivas de radiação eletromagnética que atinge a atmosfera terrestre que absorve a radiação gama, os raios X, grande parte da radiação ultravioleta, alguns comprimentos de onda da radiação infravermelha e alguma radiação micro-ondas. Cerca de 30% da radiação solar é refletida pela atmosfera terrestre o que traduz o albedo do planeta. Outra percentagem da radiação solar atravessa a atmosfera, sendo transmitida.

A chegada da radiação solar à Terra evidencia o facto de as radiações eletromagnéticas não necessitarem de um meio material para se propagarem, uma vez que entre a Terra e o Sol o espaço é praticamente vazio.

Qualquer corpo, acima de 0 K, emite energia sob a forma de radiação como resultado da agitação das suas unidades estruturais (átomos, moléculas ou iões) uma vez que cargas elétricas aceleradas criam ondas eletromagnéticas.

A energia irradiada por um corpo por radiação devida à sua temperatura é chamada radiação térmica para a distinguir de outros sinais eletromagnéticos, como por exemplo ondas de rádio, mas trata-se de radiação eletromagnética com as mesmas características das radiações que constituem o espectro eletromagnético.

As cobras cascavel possuem termodetetores entre as narinas e os olhos o que lhes permite detetar presas cuja temperatura seja superior à temperatura ambiente [2].

A potência emitida, por radiação por um corpo é diretamente proporcional à sua área e à quarta potência da sua temperatura absoluta, dependendo também da natureza da superfície. A equação (41) traduz a Lei de Stefan-Boltzmann.

$$P = A e \sigma T^4 \quad (41)$$

com:

$P$  - potência da radiação emitida, expressa em watt, W;

$T$  - temperatura absoluta do corpo, em kelvin, K;

$\sigma$  - constante de Stefan-Boltzmann, cujo valor é  $6,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ;

$A$  - área da superfície;

$e$  - emissividade (grandeza adimensional).

A dependência da natureza da superfície é traduzida pela emissividade,  $e$ , cujo valor está compreendido entre 0 e 1. Por convenção, os corpos que não emitem nenhuma radiação têm emissividade zero, enquanto os corpos que emitem o máximo de radiação, a uma dada temperatura, têm emissividade 1. Um corpo negro apresenta emissividade igual à unidade, sendo um radiador perfeito.

Um bom absorvedor é também um bom emissor (para os mesmos comprimentos de onda). Um refletor perfeito não absorve nenhuma radiação,  $e = 0$ ; um aço muito polido apresenta uma emissividade  $e = 0,07$ , logo emite pouca radiação e absorve de forma pouco eficaz, refletindo muito.

A emissividade de uma tinta negra, não brilhante é próxima da unidade pelo que absorve muito e emite muito, sendo um refletor pouco eficaz.

Num sistema fechado, se o sistema emitir mais radiação do que absorve a sua energia interna diminui, ao passo que a energia interna das suas vizinhanças vai aumentar; pelo contrário, se o sistema absorver mais radiação do que a emitida, a sua energia interna aumenta e a energia interna das vizinhanças diminui.

Quando um corpo está em equilíbrio térmico com as suas vizinhanças, a taxa de emissão de energia por radiação é igual à taxa de absorção.

## 6.1. Corpo negro

Um corpo negro é um corpo ideal que absorve toda a radiação que nele incide; é, como tal, um absorvedor perfeito. A radiação que emite depende da sua temperatura mas não depende da sua constituição nem da sua forma. A uma dada temperatura é o corpo que mais radiação emite, sendo considerado um emissor perfeito. Apresenta uma intensidade máxima de emissão para um comprimento de onda bem definido, dependente da temperatura a que se encontra.

Uma boa aproximação a um corpo negro é uma caixa oca, com uma pequena abertura numa parede (Figura 69).

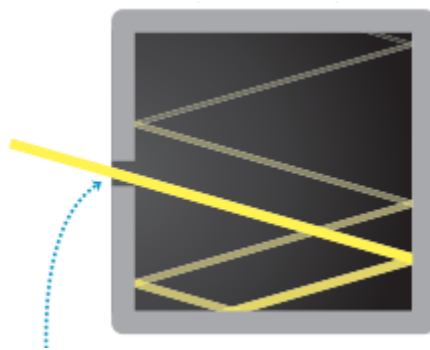


Figura 69 - “Corpo negro” [8]

A luz que entra na abertura, indicada pela seta azul, será absorvida pelas paredes da caixa, pelo que esta é um absorvedor praticamente perfeito. Quando a caixa é aquecida vai emitir radiação cujo espectro é contínuo.

A Figura 70 mostra a radiância espectral de um corpo negro, a três temperaturas diferentes.

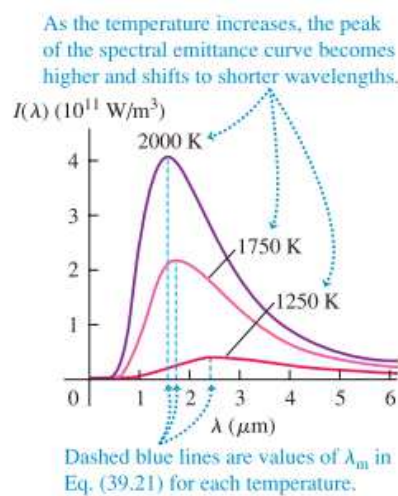


Figura 70 - Intensidade da radiação emitida por um corpo negro [8]

De acordo com a lei de Stefan-Boltzmann a intensidade da radiação emitida que só depende da temperatura varia com a quarta potência da temperatura absoluta.

O gráfico anterior permite concluir que:

A temperaturas mais elevadas, o pico que corresponde ao comprimento de onda para o qual é máxima a radiação emitida desloca-se para menores comprimentos de onda.

A lei de Wien, matematicamente traduzida por:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{B}{T} \quad (42)$$

com  $B = 2,898 \times 10^{-3}$  m K, indica que o comprimento de onda para o qual é máxima a radiação emitida é inversamente proporcional à temperatura absoluta a que o corpo negro se encontra.

## 6.2. Atividades no clube de ciência/aulas

### 6.2.1. Coletor solar plano

Com esta atividade pretende-se construir um coletor solar plano, com materiais acessíveis e de baixo custo. Esta atividade foi sugerida por um dos alunos do 10º ano que construiu o coletor que se apresenta a seguir.



Figura 71 - Coletor construído por um dos alunos

Após trabalho de pesquisa procedeu-se à construção de um outro coletor.

Os coletores solares são dispositivos projetados para aproveitarem a radiação solar para o aquecimento de fluidos, normalmente água ou ar e são utilizados, por exemplo, no aquecimento de águas para uso sanitário e no aquecimento de águas ou de gases para utilização industrial [34].

### MATERIAL

- Caixa de cartão
- Esferovite
- Plástico preto (saco do lixo) ou tinta preta fosca (spray)
- Plástico transparente
- Arame
- Fita-cola
- Cola
- Garrafão de plástico (5L)
- Mangueira de plástico transparente e flexível (6 m)
- Silicone

(Podes usar uma bomba de água para ajudar na circulação da água)

### PROCEDIMENTO (ACOMPANHA A SEQUÊNCIA DO TRABALHO)

- Corta a caixa de cartão de modo que fique com a base e as laterais tenham cerca de 10 cm de altura.
- Reveste o interior da caixa com esferovite.
- Forra o interior da caixa com o plástico preto ou pinta-o com a tinta.
- Faz dois furos numa das paredes laterais da caixa.
- Coloca a mangueira na caixa e usa o arame e a fita-cola para a fixar.
- Passa as pontas da mangueira pelos furos da parede lateral da caixa.
- Tapa a caixa com o plástico transparente.
- Faz dois furos no garrafão de água para que nestes entrem as extremidades da mangueira. Usa silicone para vedar os furos.
- Enche o garrafão e os tubos com água.
- Inclina o coletor de maneira a receber o máximo de radiação solar.

Os passos realizados (sequência do trabalho) encontram-se nas figuras seguintes.



Figura 72 - Caixa com esferovite



Figura 73 - Caixa com esferovite e arames



Figura 74 - Caixa já forrada com plástico preto



Figura 75 - O coletor já com o tubo e com o plástico transparente



Figura 76 - O coletor e o reservatório



Figura 77 - Coletor solar com um reservatório diferente

Esta atividade permite evidenciar os mecanismos da condução térmica, da convecção e da radiação [35].

Um coletor solar plano é constituído por uma caixa rasa, normalmente de alumínio. No caso do coletor construído pelos alunos foi utilizada uma caixa de papelão que é mais acessível [36]. A serpentina do coletor, dentro da qual circula água, normalmente de cobre (material com elevada condutividade térmica), foi substituída por uma mangueira de plástico transparente. Obter-se-iam resultados melhores se a mangueira de plástico fosse preta. A caixa de cartão, revestida por dentro de esferovite, funciona como isolador térmico, minimizando as perdas de energia por condução térmica para o exterior.

A eficácia do coletor podia ter sido aumentada se tivéssemos utilizado uma placa metálica, pintada de negro, com as mesmas dimensões da caixa de cartão colocada por cima do revestimento de esferovite e que funcionaria como placa absorvente. A energia absorvida pela placa absorvente seria transferida, por condução térmica, para a serpentina.

A abertura do coletor foi coberta com um plástico transparente e tem por função atenuar as perdas de energia para o exterior por convecção, pois impede a ação do vento (convecção) e serve também para provocar efeito de estufa. Estes dois efeitos contribuem para aumentar a temperatura da água que circula pelo tubo de plástico. Geram-se correntes de convecção na água. A água pode também ser obrigada a circular (convecção forçada) [37].

O sistema de aquecimento tem, para além do coletor solar, um reservatório. Os alunos usaram como reservatórios um garrafão e uma garrafa de plástico pintados de preto.

Esta atividade tinha apenas por objetivo aquecer a água, mas foi possível obter alguns resultados quantitativos. Para tal, instalou-se um termómetro no reservatório e registaram-se os valores de temperatura, para diferentes inclinações do coletor solar, em diferentes horas do dia, utilizando o Sol como fonte de radiação [38]. Inicialmente, o reservatório foi cheio com água à temperatura de 20 °C e o coletor foi exposto à radiação solar, durante 3 horas, com uma orientação o mais perpendicular possível aos raios solares, quando a altura solar tem os valores mais elevados, pois é neste caso que é maior a quantidade da radiação solar incidente. A água contida no reservatório atingiu a temperatura de 50 °C. Quando o coletor foi exposto à radiação solar, numa orientação não perpendicular à dos raios solares a temperatura atingida pela água contida no reservatório ficou abaixo dos 50 °C.

### 6.2.2. Radiação provoca fusão

Esta atividade permite mostrar que a radiação ao incidir numa superfície enegrecida de um pedaço de esferovite pode levar à sua fusão.

#### MATERIAL

- Dois blocos de esferovite
- Caneta preta
- Lupa

#### PROCEDIMENTO

- Usa a lupa para fazer convergir os raios solares num ponto de um dos blocos de esferovite.
- Aguarda cerca de dois minutos.
- Desenha um círculo preto no outro bloco de esferovite.
- Usa a lupa para fazer convergir os raios solares no círculo desenhado.
- Aguarda cerca de dois minutos.

As Figura 78 e Figura 79 mostram o material necessário e o aspeto dos blocos de esferovite no final da atividade.



Figura 78 - Material necessário



Figura 79 - Blocos de esferovite no final da atividade

A quantidade de energia radiante absorvida no primeiro caso é pequena pelo que não se nota alteração significativa no aspeto do bloco de esferovite. Quando a radiação solar incide no círculo pintado de preto observa-se a fusão da esferovite, uma vez que a superfície circular negra é boa absorvedora de radiação.

### 6.2.3. Aquecer água com lupas

A leitura do artigo seguinte foi o ponto de partida para a realização da atividade.

Força Divina

### Faça-se a luz

Usina movida a espelhos promete um futuro brilhante para a energia solar

Texto Alexandre Versignassi

Sabe aquilo de queimar papel com uma lupa num dia de sol? Então. Esta usina aqui gera energia pelo mesmo princípio. Só que em escala industrial: são 624 espelhos, de 120 m<sup>2</sup> cada um, fazendo o papel de “lupa”. A função deles é concentrar a luz do Sol em caixas-d`água na parte de cima da torre. A água esquenta a 400 oC. Ferve diabolicamente. Os jatos de vapor saem com força suficiente para mover turbinas pesadas. E o movimento das turbinas cria uma corrente elétrica. Resultado: 11 megawatts de energia, o bastante para suprir uma cidadezinha de 10 000 habitantes. Tudo sem queimar um teco de carvão ou acumular lixo atômico. E pela metade do preço de uma usina solar comum. Mais: ela pode funcionar com água salgada. A evaporação tira o sal, e a água doce que sobra vai para irrigar plantações. A primeira dessas usinas a operar em escala comercial é esta aqui, em Sevilha, na Espanha. E a idéia é instalar centenas delas no norte da África, onde o que não falta é sol, para fornecer energia à Europa. Que tal algumas dessas por aqui para evitar novos apagões?

Figura 80 - Artigo da revista *Super Interessante* - setembro 2007

#### MATERIAL

- Recipiente de vidro com água (2)
- Lupas
- Espelhos (ou cartão forrado com papel de alumínio)
- Termómetro (2)
- Suportes

#### PROCEDIMENTO

- Coloca 100 mL de água em cada um dos recipientes de vidro.
- Coloca um termómetro dentro de cada recipiente com água.
- Mede a temperatura da água.
- Coloca os dois recipientes expostos à radiação solar nas mesmas condições.
- Utiliza as lupas e os espelhos (ou cartão forrado com papel de alumínio) para fazer convergir os raios solares para a água de um dos recipientes.
- Vai observando o aumento de temperatura.

A função do cartão revestido com papel de alumínio é a de fazer convergir os raios solares, após reflexão, no recipiente com água.

A temperatura inicial das amostras de água era de 27,5 °C. Verificou-se que após um intervalo de tempo de cerca de 40 minutos a água aquecida com o sistema de lupas tinha atingido a temperatura de 44,6 °C e a água contida no outro recipiente chegou aos 42,0 °C. Facilmente se constata que nas condições em que a atividade foi realizada a utilização de lupas não produziu resultados muito melhores.

A montagem efetuada é traduzida pela Figura 81.

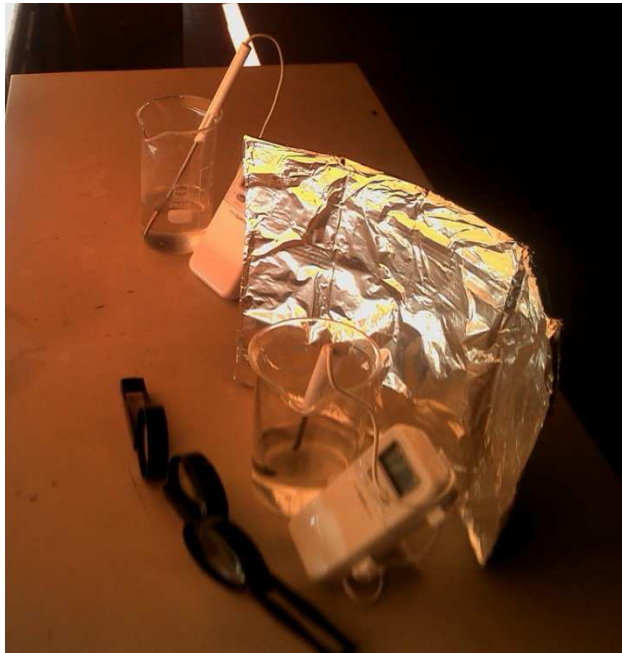


Figura 81 - Aquecimento de água

A atividade anterior foi repetida colocando um pedaço metálico negro dentro do copo que vai ser aquecido com o sistema de lupas.

Os dois copos foram expostos, nas mesmas condições, à radiação solar durante 40 minutos. Deve referir-se que as condições climáticas em que esta segunda atividade foi levada a cabo foram significativamente diferentes - a temperatura exterior era muito mais baixa e a intensidade de radiação solar era menor (a primeira parte foi feita no pico do verão e a segunda já no outono). A temperatura inicial das amostras de água era de 23 °C e após o aquecimento a água em que se mergulhou o corpo negro e que foi aquecida com o sistema de lupas atingiu a temperatura de 29 °C. A água do outro recipiente atingiu os 26 °C.

Realizámos a experiência considerando a existência num dos copos de água, em que se fazia incidir a luz, um corpo negro metálico mergulhado na água e que inicialmente se encontrava à mesma temperatura da água (um pedaço de metal pintado de preto). Observámos nestas condições um maior aumento de temperatura para o copo com o corpo negro mergulhado o que corresponde uma maior quantidade de energia radiante absorvida.

Considerando ainda a opção referida, colocámos no copo ao qual se associa o sistema de lupas, pregos de aço (têm a cor negra) e expusemos o copo à radiação solar (Figura 82). Foi também exposto ao Sol um copo contendo apenas água. Em ambos os casos a massa de água era de 100 g. A temperatura inicial da água era nos dois casos de 26 °C.

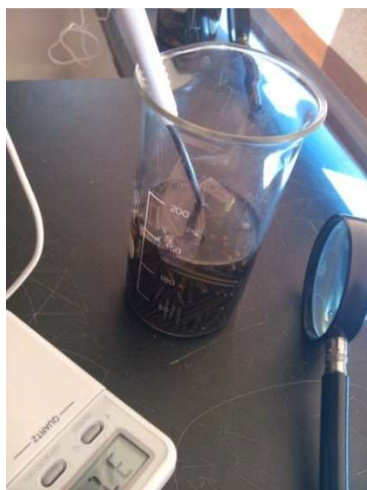


Figura 82 - Aquecer água com lupa e pregos

Após 50 minutos de exposição à radiação solar, a água contida no copo com os pregos atingiu os 41,5 °C e a água do outro copo chegou aos 36,8 °C. Portanto para além de a água ter sido aquecida a uma temperatura mais elevada, foi ainda incrementada a temperatura dos pregos mergulhados na água!

Concluimos que, para o aquecimento da água, a introdução de um corpo negro permite que haja uma maior absorção da energia radiante incidente, o que implica um maior aumento da temperatura, sendo portanto a existência de um corpo negro mergulhado na água um elemento fundamental para atingir o objetivo que se pretende com este tipo de atividade e que é o aproveitamento económico da energia da radiação solar como energia renovável.

#### **6.2.4. Utilizar painéis fotovoltaicos para colocar barcos e carros em movimento**

A Figura 83 mostra o primeiro barco/jangada construído, com um motor ligado a uma hélice de plástico. O painel fotovoltaico vai fornecer energia ao motor.

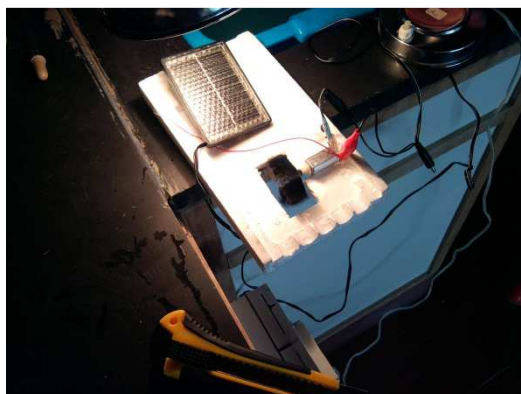


Figura 83 - Jangada solar

**MATERIAL**

- Barco plástico de brincar ou placa de esferovite
- Painel fotovoltaico
- Fios elétricos
- Motor de um carrinho de brincar
- Ventoinha retirada de um dissipador de computador

**PROCEDIMENTO**

- Utiliza um modelo de barco (pode ser um barco de plástico de brincar) ou uma placa de esferovite.
- Liga a ventoinha ao teu barco (esta vai funcionar como hélice).
- Coloca o painel fotovoltaico em cima do barco e liga os fios.
- Coloca o barco em água e observa o seu movimento.
- Podes também usar um motor de um carrinho de brincar ao qual associas uma hélice ao eixo de rotação.

Os alunos construíram também um barco usando um dissipador de computador.

Na Figura 84 encontra-se o modelo do carro solar construído utilizando as rodas e o motor de um carrinho de brincar.

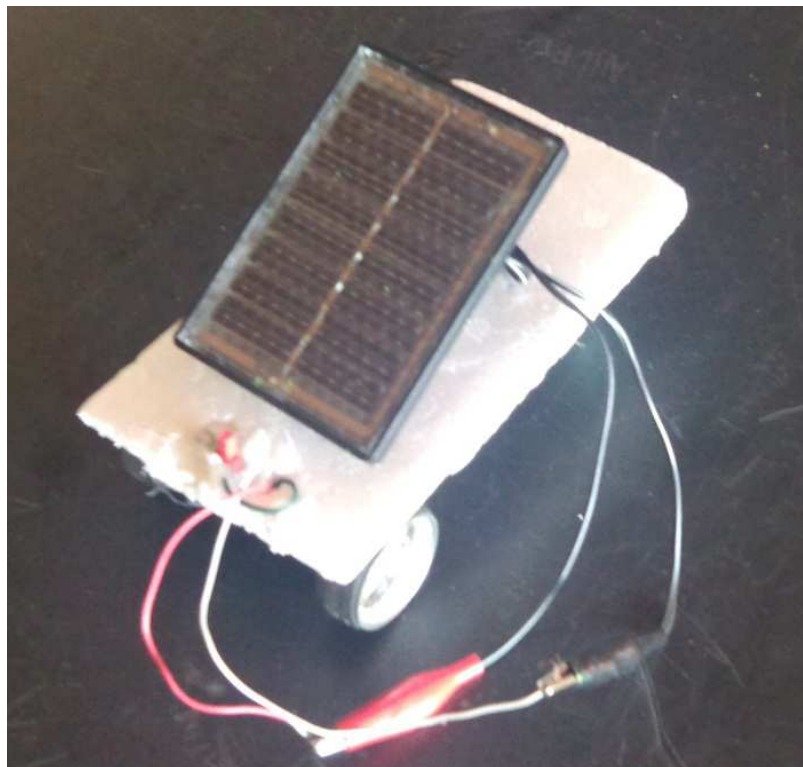


Figura 84 - Carro solar

### 6.2.5. Forno solar

O forno solar da Figura 85 foi construído há cerca de 4 anos por um grupo de antigos alunos.



Figura 85 - Forno solar

Este ano letivo os alunos levaram a cabo a tarefa de construir novos modelos de fornos solares; foi criado um modelo de forno solar conhecido pelo nome de forno solar de caixa aberta refletora e um modelo extremamente simples - forno solar para-brisas (Figura 86).



Figura 86 - Forno solar de para-brisas

Os fornos solares são dispositivos bastante eficazes para aquecer água, cozinhar, desidratar frutos e vegetais e secar objetos. As paredes internas do forno são espelhadas o que faz com que a radiação seja refletida e vá incidir sobre o recipiente que se encontra no centro e que sendo preto permite uma melhor absorção de radiação.

Existem basicamente dois tipos de fornos solares - de caixa e parabólicos [39]. Os fornos solares de caixa podem ser de caixa aberta ou de caixa fechada. Os parabólicos são constituídos por uma estrutura parabólica aberta e refletora que concentra os raios solares no recipiente onde se colocam os alimentos.

A utilização destes dispositivos permite reduzir o consumo energético e a dependência dos combustíveis fósseis. Nas populações de zonas desfavorecidas e com exposição solar são uma ajuda preciosa pois tornam as populações menos dependentes da madeira, a grande maioria das vezes escassa. Nos campos de refugiados de Darfur, a Organização para a Paz e Desenvolvimento em Darfur investiu num projeto de fornos solares. Em Kakuma, no Quênia, a EDP forneceu fornos solares aos refugiados que assim não têm de percorrer quilómetros à procura de lenha ou água potável (que pode ser esterilizada com os fornos), diminuindo os riscos de ataques violentos durante estas caminhadas [40].

Deste modo, reduz-se a deflorestação, aumenta o rendimento disponível e permite criar pequenas oportunidades de negócio. Os fornos são utilizados em restaurantes improvisados [40].

As figuras seguintes ilustram a sequência de construção do forno solar de caixa aberta refletora.



Figura 87 - Primeiro passo da construção



Figura 88 - Forno solar da caixa aberta refletora

Utilizando os dois fornos solares procedeu-se ao aquecimento simultâneo de duas amostras de água com a mesma massa (100 g) e em condições que permitiam que a radiação solar que atingisse os fornos fosse a mesma. Como é possível observar nas imagens, os recipientes que contêm a água são iguais, tendo sido utilizadas pequenas latas de refrigerante pintadas de preto. A temperatura inicial da água era de 28 °C e após cerca de 50 minutos de aquecimento verificou-se que a água aquecida com o forno de caixa refletora atingiu 72,4 °C e a amostra de água que se encontrava no outro forno chegou aos 60 °C. Os recipientes que continham a água foram tapados com sacos de plástico transparente para criar efeito de estufa (existem no mercado sacos apropriados para este fim).



Figura 89 - Forno de caixa e recipiente com água

O aquecimento da água foi iniciado às 11h e 37 min na cidade de Pinhel, no dia 7 de setembro, na janela do laboratório. Pretendia-se com estas condições simular o que acontece quando se utiliza o forno solar dentro de uma casa, sem jardim ou quintal para testar a viabilidade de se usar este utensílio em condições reais, uma vez que a maior parte das pessoas mora em apartamentos.

#### 6.2.6. O termómetro que aquece mais

##### MATERIAL

- Termómetros analógicos iguais (2)
- Candeeiro com lâmpada de incandescência

##### PROCEDIMENTO

- Enegrece o bolbo de um dos termómetros com um pouco de fuligem.
- Coloca os dois termómetros perto de uma lâmpada de incandescência (os termómetros devem ser posicionados da mesma maneira relativamente à lâmpada).
- Aguarda alguns instantes e observa as temperaturas indicadas por cada um dos termómetros.
- Apaga a lâmpada e vai observando o valor marcado pelos termómetros.

Na figura seguinte indica-se a “montagem” efetuada.



Figura 90 - Qual aquece mais?

Esta atividade permite observar que o termómetro com o bolbo escurecido vai aquecer mais rapidamente, pois o preto é um bom absorvedor de radiação.

Quando se apaga a lâmpada observa-se que o termómetro com o bolbo enegrecido vai arrefecer mais rapidamente, pois o material que reveste o bolbo sendo bom absorvedor de radiação é também um bom emissor.

### 6.2.7. Termoscópio de radiação

À semelhança da atividade anterior, o termoscópio de radiação permite ilustrar o fenómeno de absorção de radiação por corpos com cores diferentes.

#### MATERIAL

- Lâmpadas de incandescência fundidas (2)
- Lâmpada de incandescência de 200 W
- Fio elétrico com interruptor e ficha elétrica.
- Casquilho
- Tinta preta (baça)
- Tinta branca
- Tubo de plástico estreito
- Placas de esferovite (madeira)
- Tubos de plástico rígido
- Água corada
- Silicone

#### PROCEDIMENTO

- Com muito cuidado para não te cortares retira a parte metálica das lâmpadas de incandescência fundidas de modo a ficares só com os bolbos.
- Pinta os bolbos, um de branco e outro de preto.
- Faz a montagem da estrutura representada na Figura 91.
- Usa o silicone para fixares o tubo de plástico na extremidade de um dos bolbos.
- Coloca a água corada no tubo de plástico.
- Com o silicone fixa a extremidade livre do tubo de plástico no outro bolbo.
- Liga a lâmpada à corrente elétrica.

Esta atividade resulta melhor com a lâmpada de 200 W, mas pode também ser realizada usando uma lâmpada de 100 W. Os bolbos das lâmpadas, colocados à mesma distância da lâmpada, são ligados por um tubo transparente, em U, contendo água corada, o que facilita a visualização da altura da coluna de líquido. Na Figura 91 e na Figura 92 mostra-se o termoscópio construído.



Figura 91 - Termoscópio de radiação



Figura 92 - Termoscópio com lâmpada de 200 W

A imagem da Figura 93 mostra o tubo em U, contendo água corada, em pormenor.



Figura 93 - Pormenor do tubo contendo água corada

A quantidade de energia recebida por cada um dos bolbos é a mesma, porém o bolbo pintado de negro vai absorver mais energia. Como os dois recipientes têm o mesmo volume, naquele em que for maior a quantidade de energia absorvida será também maior o aumento de pressão dos gases contidos no seu interior, o que se verifica para o bolbo enegrecido. Aumenta o volume ocupado pelo gás a temperatura mais elevada e reduz-se o volume ocupado pelo gás a menor temperatura. O líquido corado é empurrado e sobe no tubo de plástico atingindo uma altura superior do lado do bolbo branco.

### 6.2.8. Absorção e emissão de radiação

Esta atividade foi realizada em contexto de sala de aula com os alunos do 10º ano e é uma das atividades laboratoriais de caráter obrigatório.

A realização da atividade permite obter resposta às questões-problema:

- “Porque é que as casas alentejanas são, tradicionalmente, caiadas de branco?”
- “Porque é que a parte interna de uma garrafa-termo é espelhada?”

Nesta atividade pretende-se que o aluno compare o poder de absorção de energia por radiação de superfícies diversas (uma superfície preta com uma superfície branca e uma superfície polida com uma superfície baça).

O programa oficial da disciplina de Física e Química A para o 10º ano sugere que esta atividade seja realizada com um cubo de Leslie. O cubo de Leslie é um cubo com 4 faces diferentes: preta, branca, polida e baça. Estas faces permitem comparar o poder de absorção das diferentes superfícies, em função do tempo, quando sobre elas se faz incidir radiação visível.

Não dispondo de um cubo de Leslie é possível realizar a atividade usando reservatórios que diferem nas características da superfície (branca, preta, material polido e baço) mas com a mesma área. Na atividade laboratorial foram utilizadas 3 latas de refrigerante pintadas com tintas que lhes confirmam as características desejadas [34], [41].

#### MATERIAL

- Latas de refrigerante (3)
- Termómetro digitais (3)
- Suportes
- Candeeiro com lâmpada de incandescência 100 W (3)
- Plasticina

### PROCEDIMENTO

- Coloca o termómetro no interior de cada uma das latas (o termómetro não deve tocar na parede da lata).
- Usa plasticina para ajudar a segurar o termómetro e para tapar o orifício da lata.
- Faz incidir a radiação emitida pela lâmpada sobre as latas.
- Regista o valor de temperatura medido com o termómetro em intervalos de tempo de 1 minuto.

Devem ser mantidas as mesmas condições em cada um dos ensaios, isto é, o termómetro deve estar posicionado da mesma maneira e a posição da lâmpada relativamente à lata deve ser a mesma em cada ensaio.

Na Figura 94 esquematiza-se a montagem laboratorial.

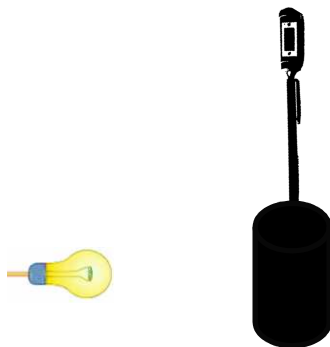


Figura 94 - Esquema da montagem

As imagens da Figura 95 ilustram a montagem laboratorial para uma lata preta e para uma lata branca.

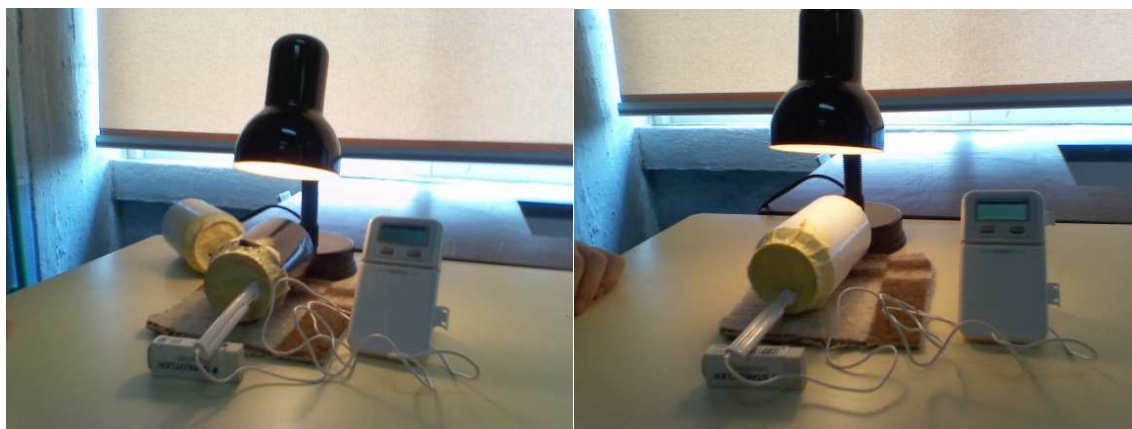


Figura 95 - Material e montagem da atividade laboratorial

Com os valores obtidos construíram-se gráficos da variação da temperatura ao longo do tempo.

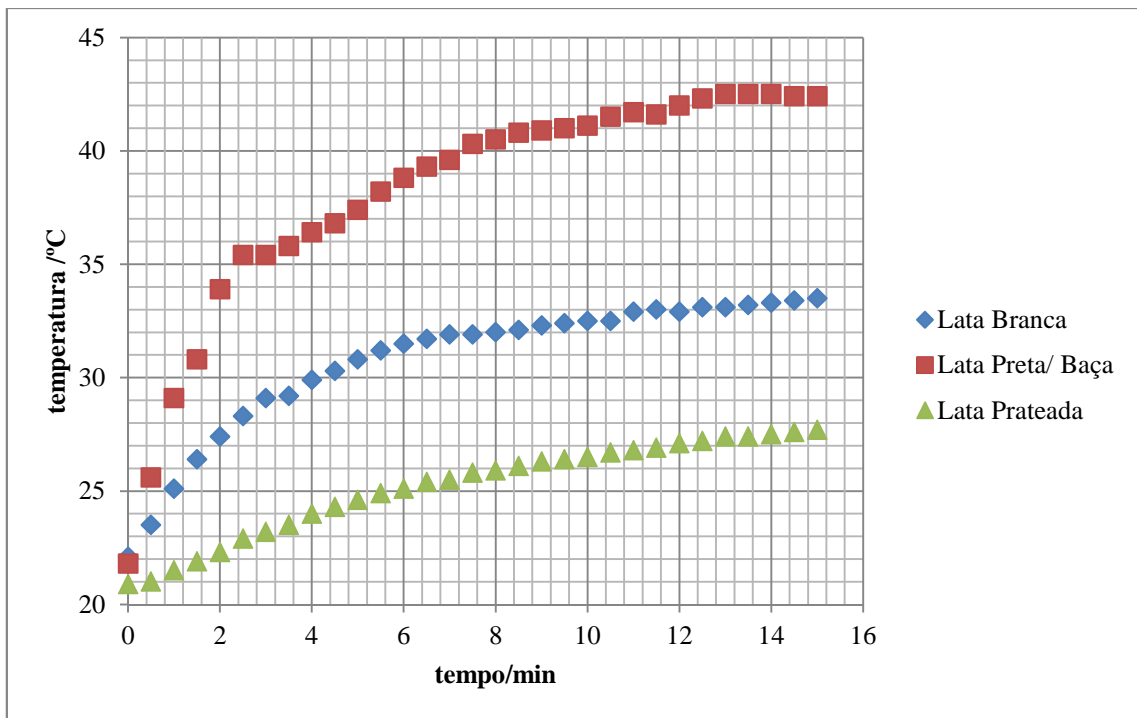


Figura 96 - Representação gráfica da variação da temperatura para cada lata

No final da atividade os alunos verificaram que os resultados obtidos estavam de acordo com o previsto teoricamente, ou seja, a lata preta sofreu um maior aumento de temperatura que a lata branca e esta maior aumento de temperatura que a lata prateada.

## 7. Sólidos termocrômicos

Uma substância termocrômica sofre uma mudança de cor reversível quando é aquecida ou arrefecida [42].

As aplicações dos compostos termocrômicos são várias, indo desde a confecção de brindes e brinquedos até o acompanhamento de mudanças metabólicas em doenças. Pode ser também útil a utilização destes materiais, por exemplo, em material de laboratório, como é o caso dos cadinhos de porcelana que são utilizados para aquecer a temperaturas elevadas. O aparecimento de uma cor diferente pode funcionar como alerta para a sua elevada temperatura.

As janelas inteligentes contêm entre as lâminas de vidro uma substância termocrômica, na forma de gel ou em película. Quando a temperatura é baixa os vidros permanecem incolores permitindo a incidência da radiação solar no interior do edifício. Um aumento de temperatura provoca o escurecimento das janelas.

São usados em produtos comerciais do dia-a-dia, como em canecas, peças de vestuário, brindes, brinquedos e rótulos de produtos.

### 7.1. Atividades no clube de ciência/aulas

#### 7.1.1. Amarelo e laranja

Esta atividade foi realizada com os alunos do 10º ano numa das aulas de final de período e teve um forte caráter lúdico pois não se enquadra nos conteúdos a lecionar. As soluções utilizadas e grande parte do procedimento foi levada a cabo pelos alunos.

Preparou-se um sólido amarelo de  $\text{Ag}_2\text{HgI}_4$  - tetra-iodomercurato de prata que ao ser aquecido (a 50 °C) muda de cor de amarelo para laranja. Esta alteração da cor fica a dever-se a uma mudança na geometria de planar quadrada para tetraédrica [42].



Figura 97 - Sólido termocrômico (antes e depois do aquecimento)

#### MATERIAL

- $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  sólido
- KI sólido
- $\text{AgNO}_3$
- Copos de precipitação
- Espátulas
- Varetas de vidro
- Garrafa de esguicho
- Água
- Fonte de aquecimento
- Funil
- Papel de filtro
- Suporte
- Exsicador

#### PROCEDIMENTO

- Dissolve 3,25 g de nitrato de mercúrio em água a ferver.
- Adiciona a solução de KI a 10%.
- Continua a adicionar KI até o precipitado anterior se dissolver.
- Adiciona 50 mL de uma solução de 3,4 g de nitrato de prata e deixa ferver durante alguns minutos.
- Filtra o precipitado de  $\text{Ag}_2\text{Hgl}_4$  - tetra-iodomercurato de prata.
- Deixa secar num exsicador.

O sólido termocrômico preparado, após secagem, foi aquecido com um secador de cabelo, tendo sido muito fácil visualizar a mudança de cor de amarelo para laranja. Quando o sólido arrefece passa rapidamente de laranja para amarelo.

Nas imagens da Figura 97 mostra-se o sólido preparado antes e depois do aquecimento.

## Conclusão

Este trabalho serviu para ensinar e aprender ciência e evidenciou como muitos conceitos e leis da Ciência aparecem associados à nossa vivência diária.

Os resultados mostram que foi alcançado o objetivo principal do trabalho: mostrar a importância da Ciência e da Experimentação. O empenho e a dedicação dos alunos testemunham o sucesso das experiências realizadas.

Foi possível realizar um conjunto de atividades e experiências simples no âmbito da Termodinâmica em que empregamos materiais de uso corrente.

Para o futuro fica o compromisso de continuarmos com a realização de atividades experimentais na sala de aula e também fora da sala de aula no âmbito de um clube de ciência de modo a alcançarmos uma maior motivação e participação dos alunos.

## Bibliografia

- [1] T. Peña, M. Pimenta, A. Noronha, J. D. de Deus, and P. Brogueira, *Introdução à Física*, 2ª ed. Lisboa: McGraw-Hill, 2000.
- [2] J. Walker, D. Halliday, and R. Resnick, *Fundamentals of Physics*, 9th ed. Jefferson City: John Wiley & Sons Inc, 2011.
- [3] P. A. Tipler, *Physics for Scientists and Engineers - Vol. 1*, 4th ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1999.
- [4] R. L. Seixas and A. C. G. Soeiro, *Lições de Física Experimental para o 2º ciclo dos liceus*, 2ª ed. Coimbra: Coimbra Editora, 1966.
- [5] L. C. Menezes and Y. Hosoume, *Leituras de Física - Física Térmica - Vol.1*. São Paulo: GREF, 1998.
- [6] L. F. Netto, “Termômetro Bimetálico.” [Online]. Available: [http://www.feiradeciencias.com.br/sala08/08\\_35.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala08/08_35.asp). [Accessed: 27-Apr-2012].
- [7] D. C. Giancoli, *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, 4th ed. New Jersey: Pearson Education, Inc., 2008.
- [8] H. D. Young and R. A. Freedman, *Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics*, 13th ed. San Francisco, CA: Addison-Wesley, 2012.
- [9] C. Fiolhais, M. Fiolhais, V. Gil, J. Paiva, C. Morais, and S. Costa, *Sustentabilidade na Terra - Ciências Físico-Químicas - 8º ano*. Lisboa: Texto Editores, 2007.
- [10] P. G. Hewitt, *Física Conceitual*. Addison Wesley, 2002.
- [11] J. O. Mattila, “Thermoelectricity Demonstration,” *The Physics Teacher*, vol. 44, no. L1, 2006.
- [12] D. D. Pollock, *Physical Properties of Materials for Engineers*. Florida: CRC Press, 1993.
- [13] “Energia elétrica de origem térmica.” [Online]. Available: <http://www.seara.ufc.br/sugestoes/fisica/elet5.htm>. [Accessed: 03-Sep-2012].
- [14] J. A. M. Simões, M. A. R. B. Castanho, I. M. S. Lampreia, F. V. J. Santos, C. A. N. de Castro, M. de F. Norberto, M. T. Pamplona, L. Mira, and M. M. Meireles, *Guia do Laboratório de Química e Bioquímica*. Lisboa: Lidel, 2000.

- [15] A. A. Dias, M. C. Lança, and M. L. Costa, “Física II - Termodinâmica B,” Lisboa, 2010.
- [16] F. Thompson, “The Thermoelectric Generator,” *Physics Education*, vol. 38, no. 6, 2003.
- [17] F. A. Gomes Filho, *Física - 3º Ano Colegial*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1957.
- [18] *Catalogue of the Museo Galileo’s instruments on display*. 2011.
- [19] L. C. Menezes and Y. Hosoume, *Leituras de Física - Física Térmica - Vol.2*. São Paulo: GREF, 1998.
- [20] M. M. R. D. Rodrigues and F. M. L. Dias, *Física na Nossa Vida - Física e Química A - 10.º Ano*. Porto: Porto Editora, 2005.
- [21] L. A. Bloomfield, *How Things Work - The Physics of Everyday Life*, 4<sup>th</sup> ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.
- [22] Unesco, *New Unesco Source Book for Science Teaching*. Paris: United Nations Educational, 1973.
- [23] J. M. F. Bassalo, “A Crônica do Calor: Calorimetria,” *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 14, no. 1, pp. 29-38, 1992.
- [24] A. B. Helena Caldeira, *Ontem e Hoje - Física e Química A - Física - 10.º Ano*. Porto: Porto Editora, 2012.
- [25] J. C. Passos, “Os experimentos de Joule ea primeira lei da termodinâmica,” *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 31, no. 3, 2009.
- [26] J. P. Joule, “On the Mechanical Equivalent of Heat,” *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 140, pp. 61-82, 1850.
- [27] M. F. Barbosa and M. J. Morgado, *Energias 10.º Ano - Manual do Aluno*. Carnaxide: Santillana - Constância, 2007.
- [28] “Aplicação da 2ª lei da termodinâmica às máquinas térmicas.” [Online]. Available: <http://www.e-escola.pt/topico.asp?id=576>.
- [29] J. H. Tiner, *100 Scientists Who Shaped World History*. San Francisco, CA: Bluewood Books, 2000.

- [30] S. J. Blundell and K. M. Blundell, *Concepts in Thermal Physics*. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- [31] L. C. Menezes and Y. Hosoume, *Leituras de Física - Física Térmica - Vol.4*. São Paulo: GREF, 1998.
- [32] Antonio de Souza Teixeira Júnior, “Leis da Termodinâmica,” *Revista de Ensino das Ciências*. São Paulo.
- [33] D. M. da Silva, *Desafios da Física - 10º Ano*. Lisboa: Lisboa Editora, 2005.
- [34] G. Ventura, M. Fiolhais, C. Fiolhais, J. Paiva, and A. J. Ferreira, *10 F A - Física e Química A. Física - Bloco 1. 10º/11º ano*. Lisboa: Texto Editores, 2009.
- [35] L. A. Weiller, N. G. e Andrade, T. D. Moura, T. Almeida, R. I. Correa, and A. G. Dickman, “Construindo um coletor solar de baixo custo: uma oportunidade para ensinar Física,” in *XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 2007, vol. 1.
- [36] J. Neto, “Colector Solar.” [Online]. Available: [http://www.jorgeneto.eprofes.net/colector\\_solar.htm](http://www.jorgeneto.eprofes.net/colector_solar.htm). [Accessed: 23-Apr-2012].
- [37] D. G. Swift, *Physics for Rural Development: A Sourcebook for Teachers and Extension Workers in Developing Countries*. New York: John Wiley & Sons, 1983, p. 389.
- [38] J. R. Pimentel, “Sistema de Aquecimento Solar Didático Empregando uma Bandeja Metálica,” *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, vol. 4, no. 2, pp. 104-111, 1987.
- [39] “Projeto Céu Azul - Ciência Viva - Forno Solar.” [Online]. Available: <http://deq.isec.pt/ceuzul/fornos.html>. [Accessed: 25-Mar-2012].
- [40] A. T. Silva and G. Tavares, “Cozinhados solares contra a fome e pelo ambiente.” [Online]. Available: <http://artigos.immagazine.sapo.pt/pt/ler/cozinhadossolares/>. [Accessed: 25-Jun-2012].
- [41] A. Bello, C. San-Bento, E. P. Pina, and H. Caldeira, *Programa de Física e Química A - 10º Ano*. Lisboa: Direcção-Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular - Ministério da Educação, 2004.
- [42] J. G. Hughes, “Thermochromic solids,” *Journal of Chemical Education*, vol. 75, no. 1, p. 57, 1998.