

Método Termométrico Diferencial

Neste problema vamos utilizar o método termométrico diferencial para realizar as seguintes tarefas:

1. Determinar o ponto de fusão de uma substância sólida cristalina
2. Determinar a eficiência de uma célula fotoelétrica

A – O método termométrico diferencial

Nesta experiência são utilizados díodos semicondutores de silício directamente polarizados como sensores de temperatura. Se a corrente eléctrica que atravessa um díodo semiconductor for constante, então a diferença de potencial (ou queda de tensão) aos terminais do díodo depende da temperatura de acordo com a relação

$$V(T) = V(T_0) - \alpha(T - T_0) \quad (1)$$

onde $V(T)$ e $V(T_0)$ são, respectivamente, a diferença de potencial aos terminais do díodo à temperatura T e temperatura ambiente T_0 (medida em °C), e o factor

$$\alpha = 2,00 \pm 0,03 \text{ mV/}^\circ\text{C} \quad (2)$$

O valor $V(T_0)$ pode variar ligeiramente de díodo para díodo.

Se dois desses díodos forem colocados a duas temperaturas distintas, a diferença de temperaturas pode ser medida através da diferença entre as quedas de tensão aos terminais dos dois díodos. Esta diferença de quedas de tensão, designada por *diferença de potencial*, pode ser medida com elevada precisão; desta forma a diferença de temperatura pode também ser medida com grande precisão. Este método é designado por *Método Termométrico Diferencial*. O circuito eléctrico da montagem onde são utilizados estes díodos encontra-se representado na Figura 1. Os díodos D_1 e D_2 encontram-se directamente polarizados por uma fonte de tensão contínua (pilha)

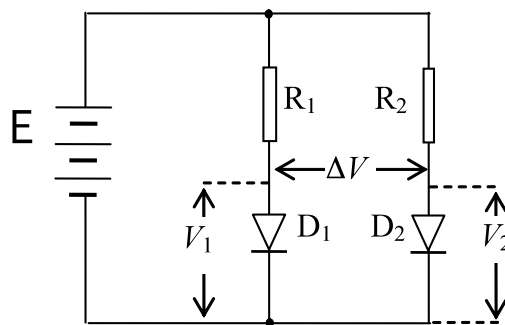


Fig. 1. Circuito eléctrico genérico do sensor diferencial de temperatura

de 9 V, através de resistências de 10 k Ω , R_1 e R_2 . Este circuito mantém a corrente nos dois díodos constante.

Se a temperatura do díodo D_1 é T_1 e a de D_2 é T_2 então, de acordo com a expressão (1), tem-se:

$$V_1(T_1) = V_1(T_0) - \alpha(T_1 - T_0)$$

e

$$V_2(T_2) = V_2(T_0) - \alpha(T_2 - T_0)$$

A diferença de potencial é:

$$\Delta V = V_2(T_2) - V_1(T_1) = V_2(T_0) - V_1(T_0) - \alpha(T_2 - T_1) = \Delta V(T_0) - \alpha(T_2 - T_1)$$

$$\Delta V = \Delta V(T_0) - \alpha \Delta T \quad (3)$$

em que $\Delta T = T_2 - T_1$. Como se pode ver, através da medida de ΔV é possível determinar a diferença de temperatura.

Para polarizar os díodos, utiliza-se uma *caixa de resistências* cujo esquema eléctrico se encontra representado na Figura 2.

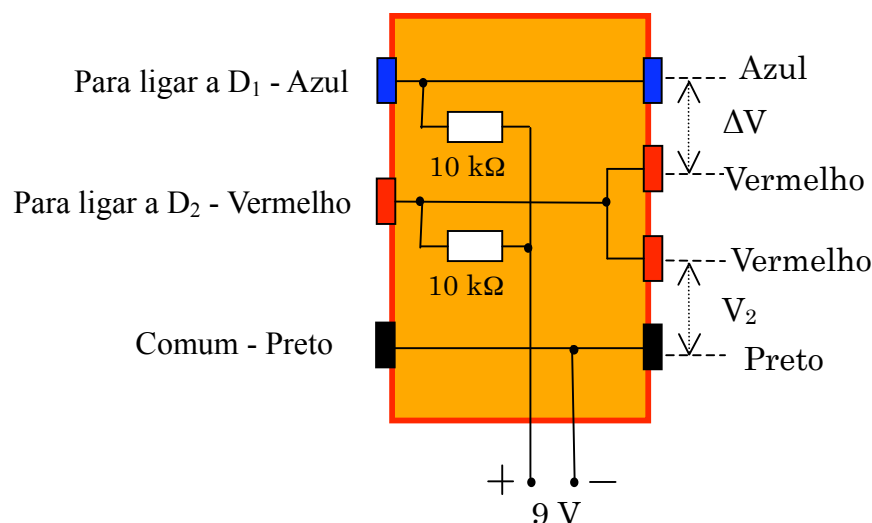


Figura 2. Diagrama da caixa de resistências

A caixa de resistências contém duas resistências de 10 k Ω para os díodos, fios eléctricos para ligar a bateria de 9 V, terminais para ligar os díodos D_1 e D_2 e terminais para ligar os multímetros digitais para medir a queda de tensão aos terminais do díodo D_2 e a diferença de potencial ΔV entre os díodos D_1 e D_2 .

B – Tarefa 1: Determinação do ponto de fusão de uma substância cristalina (9,50 pontos)

I. Objectivo da experiência

Se uma substância cristalina for aquecida até fundir e for seguidamente arrefecida, solidifica a uma temperatura fixa T_S , designada por *ponto de fusão ou de solidificação* da substância. O método tradicional para determinar T_S é observar a variação da temperatura durante o processo de arrefecimento da substância.

Como o processo de solidificação é acompanhado da libertação do calor latente associado à transição de fase, a temperatura da substância não muda durante o processo de solidificação. Se a quantidade de substância for suficientemente elevada, o intervalo de tempo no qual a temperatura permanece constante é relativamente longo e pode determinar-se facilmente esta temperatura. Pelo contrário, se a quantidade de substância for pequena esse intervalo de tempo é demasiado pequeno para que se possa observar e por isso é difícil determinar T_S .

Para se poder determinar T_S no caso de uma pequena quantidade de substância, vai utilizar-se o método termométrico diferencial, cujo princípio será ilustrado a seguir. Vão utilizar-se dois pratos pequenos idênticos, um que irá conter uma pequena quantidade da substância a ser estudada, a *amostra*, e outro, sem substância, que servirá como *referência*. Os dois pratos são colocados em cima de uma fonte de calor cuja temperatura varia lentamente com o tempo. Considerar que o fluxo de calor para os dois pratos é o mesmo. Cada prato contém um sensor (um diodo de silício directamente polarizado). Enquanto não ocorrer nenhuma transição de fase na substância, a temperatura T_{samp} da *amostra* e a temperatura T_{ref} da *referência* variam praticamente à mesma taxa e por isso $\Delta T = T_{\text{ref}} - T_{\text{samp}}$ varia lentamente com T_{samp} . Se ocorrer uma transição de fase na substância, durante a transição T_{samp} não varia e permanece igual a T_S . No entanto, mesmo durante a transição, T_{ref} varia continuamente. Então ΔT varia rapidamente durante a transição de fase. O gráfico de ΔT em função de T_{samp} mostra uma mudança abrupta. O valor de T_{samp} correspondente à variação abrupta de ΔT é de facto T_S .

O objectivo desta experiência é determinar o ponto de fusão T_S de uma substância cristalina pura, cujo ponto de fusão T_S está entre 50°C e 70°C, utilizando o método tradicional e o método termométrico diferencial. A quantidade de substância utilizada nesta experiência é de cerca de 20 mg.

II. Dispositivo experimental e materiais utilizados

1. Fonte de calor de 20 W (lâmpada de halogéneo)
2. Placa de suporte com um orifício quadrado a meio, feita de baquelite. Uma placa metálica encontra-se acoplada ao suporte de baquelite na zona do orifício. Dois pequenos ímans são colocados na placa metálica.
3. Dois pratos pequenos, cada um com um díodo de silício soldado no seu centro. Um dos pratos é utilizado para a *amostra* e o outro como *referência*.

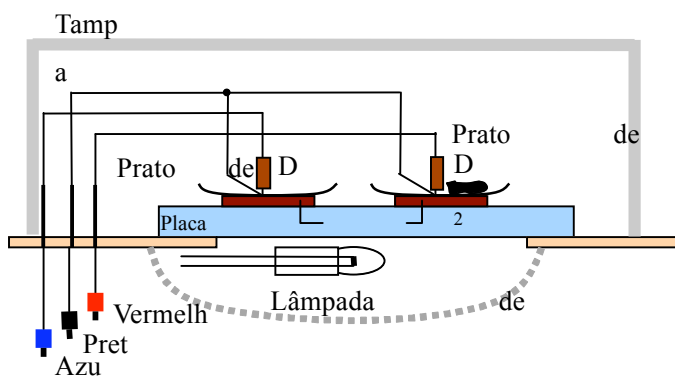


Figura 3. Dispositivo para medir o ponto de fusão

Cada um dos pratos é colocado em cima de um íman. A força magnética mantém o contacto entre o prato, o íman e a placa metálica. Os ímans também conduzem um fluxo de calor moderado da placa metálica para os pratos. Uma caixa de plástico de cor cinzenta é utilizada como tampa para tapar os pratos, protegendo-os de influências exteriores. A Figura 3 mostra a montagem dos pratos e dos ímans no suporte.

4. Dois multímetros digitais são utilizados como voltímetros. Estes multímetros podem também ser utilizados para medir a temperatura ambiente, colocando o selector de funções do multímetro na posição que indica “C/°F”. Quando o multímetro é usado como voltímetro, o erro é de ± 2 vezes a unidade associada ao último dígito.

Nota: Para evitar que o multímetro se desligue automaticamente durante as medições, ao colocar o “selector de funções” na função que deseja mantenha pressionado o botão SELECT (ver Figura 9).

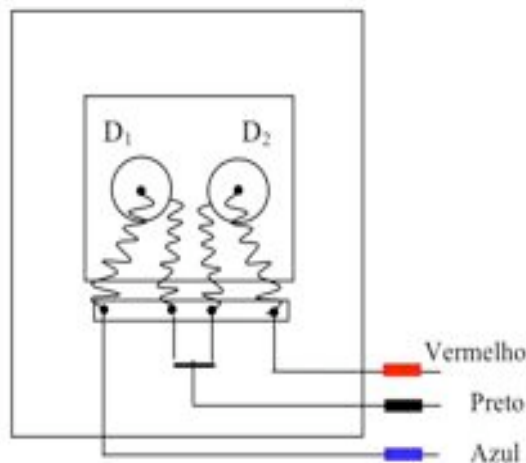


Figura 4. Os pratos no suporte (vista de topo)

5. Uma caixa com o circuito representado na Figura 2.
6. Uma bateria de 9 V.
7. Fios eléctricos.
8. Uma pequena ampola contendo 20 mg da substância a ser medida.
9. Um cronómetro.
10. Uma calculadora.
11. Papel milimétrico.

III. Execução experimental

1.

Os ímans devem ser colocados em dois locais equivalentes da placa metálica. O prato de referência e o prato da amostra (*sem amostra*) são depois colocados em cima dos ímans, como se vê na Figura 4. Considera-se que o prato de referência será o da esquerda, contendo o díodo D_1 (D_1 será por isso designado por *díodo de referência*). O prato da direita, contendo o díodo D_2 , será então, obviamente, o que irá conter a amostra, e o díodo D_2 será designado por *díodo de medida*.

Rode o braço do candeeiro de modo que a lâmpada fique virada para cima, como se vê na Figura 5. Não ligue o candeeiro. Coloque o suporte de baquelite em cima da lâmpada do candeeiro. Ligue os dispositivos necessários para medir a queda de tensão no díodo D_2 , i.e. $V_{\text{samp}} = V_2$, e a diferença de potencial ΔV .

Para eliminar os erros devidos ao período de aquecimento dos aparelhos de medida e dos vários dispositivos envolvidos, recomenda-se que o circuito completo de medida, incluindo os aparelhos de medida, seja ligado 5 minutos antes de começar a adquirir dados.

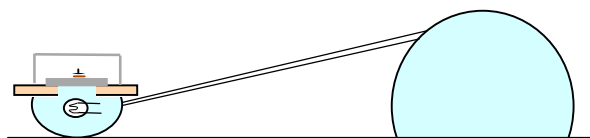


Figura 5

Utilização da lâmpada de halógeno como fonte de calor

1.1. Meça a temperatura ambiente T_0 e a queda de tensão à temperatura ambiente

$V_{\text{samp}}(T_0)$ no díodo de medida D_2 .

Problema Experimental

1.2. Calcule quais serão as quedas de tensão $V_{\text{samp}}(50^\circ\text{C})$, $V_{\text{samp}}(70^\circ\text{C})$ e $V_{\text{samp}}(80^\circ\text{C})$ no díodo de medida a 50°C , 70°C e 80°C , respectivamente.

2.

Acenda o candeeiro. Os dois pratos estão, ainda, vazios. Acompanhe a evolução temporal de V_{samp} . Quando a temperatura do prato da amostra atingir $T_{\text{samp}} \sim 80^\circ\text{C}$, desligue o candeeiro.

2.1. Espere até que $T_{\text{samp}} \sim 70^\circ\text{C}$. Comece então a anotar os valores de V_{samp} e ΔV a cada $10\text{ s} \sim 20\text{ s}$, enquanto toda a montagem arrefece. Transcreva os valores para a tabela da folha de respostas. Se ΔV variar rapidamente, reduza o intervalo de tempo entre duas medidas consecutivas. Pare as medidas quando o prato da amostra arrefecer até $T_{\text{samp}} \sim 50^\circ\text{C}$.

2.2. Faça o gráfico de V_{samp} em função de t (designado por Gráfico 1) numa das folhas de papel milimétrico que lhe foi fornecido.

2.3. Faça o gráfico de ΔV em função de V_{samp} (designado por Gráfico 2) numa das folhas de papel milimétrico que lhe foi fornecido.

Nota: Nas secções 2.2 e 2.3, não se esqueça de escrever o nome dos gráficos nas folhas de papel milimétrico.

3.

Coloque a substância da ampola no prato da amostra. Repita todos os passos da secção 2.

3.1. Faça uma tabela para apresentar as medidas de V_{samp} e ΔV em função do tempo t e transcreva-a para a folha de respostas.

3.2. Faça o gráfico de V_{samp} em função de t (designado por Gráfico 3) numa das folhas de papel milimétrico que lhe foi fornecido.

3.3. Faça o gráfico de ΔV em função de V_{samp} (designado por Gráfico 4) numa das folhas de papel milimétrico que lhe foi fornecido.

Nota: Nas secções 3.2 e 3.3, não se esqueça de escrever o nome dos gráficos nas folhas de papel milimétrico.

4.

Nesta secção vai determinar o ponto de fusão da substância, T_s , por comparação dos gráficos das secções 2 e 3.

4.1. *Método tradicional para determinar T_s* : por comparação dos gráficos de V_{samp} em função de t nas secções 3 e 2, i.e., Gráfico 3 e Gráfico 1, marque, no Gráfico 3, o ponto onde a substância solidifica e determine o valor V_s de V_{samp} que corresponde a este ponto. Determine o ponto de fusão da substância, T_s , e estime o erro.

4.2. *Método termométrico diferencial para determinar T_s* : por comparação dos gráficos de ΔV em função de V_{samp} nas secções 3 e 2, i.e., Gráfico 4 e Gráfico 2, marque, no Gráfico 4, o ponto onde a substância solidifica e determine o valor V_s de V_{samp} que corresponde a este ponto. Determine o ponto de fusão da substância, T_s .

4.3. A partir dos erros das medidas experimentais e dos aparelhos de medida, determine o erro do método termométrico diferencial na obtenção de T_s . Indique explicitamente, na folha de respostas, os seus cálculos para determinar o erro e transcreva também para a folha de respostas o valor de T_s e o respectivo erro.

C – Tarefa 2: Determinação da eficiência duma célula solar quando é iluminada por uma lâmpada incandescente

(10,50 pontos)

I. Objectivo da experiência

O objectivo desta experiência é determinar a *eficiência* duma célula solar quando é iluminada por uma lâmpada incandescente. A eficiência é definida como a razão entre a potência eléctrica que a célula pode fornecer a um circuito e a potência total da radiação recebida pela célula. A eficiência depende do espectro da radiação incidente. Nesta experiência a radiação incidente na célula provém de uma lâmpada incandescente de halogéneo. Para determinar a eficiência da célula solar, mede-se a *irradiância* E num ponto situado a uma distância d por baixo da lâmpada e a *potência máxima* P_{\max} da célula solar quando é colocada no mesmo ponto. Nesta experiência, $d = 12\text{ cm}$ (Figura 6). A irradiância E pode ser definida como:

$$E = \Phi / S$$

em que Φ é o fluxo radiante (potência radiada) e S é a área da célula que é iluminada.

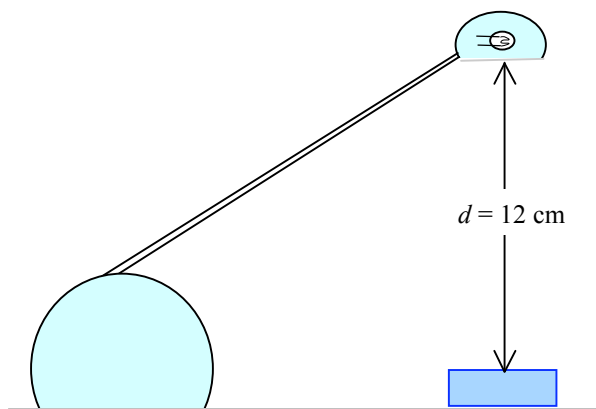


Figura 6

Utilização da lâmpada de halogéneo
como fonte de luz

II. Dispositivo experimental e materiais utilizados

1. A fonte de luz é uma lâmpada incandescente de halogéneo de 20W.
2. O detector de radiação é um cone oco de cobre. A superfície interna do cone está escurecida com fuligem (Figura 7). O cone não está termicamente isolado do ambiente. O detector pode ser considerado um corpo negro ideal. Para medir a temperatura utilizam-se dois díodos de silício. O díodo de medida é montado no detector de radiação (D₂ nas Figuras 1 e 7) de modo que a sua temperatura seja igual à do cone. O díodo de referência está colocado dentro da caixa que contém o detector mas junto à sua face lateral, de modo que a sua temperatura é a temperatura ambiente. O calor específico total do detector

(conjunto formado pelo cone e pelo díodo de medida) é $C = (0.69 \pm 0.02) \text{ J/K}$. A caixa do detector tem uma janela coberta por uma película muito fina de polietileno. A absorção de radiação por essa película pode ser ignorada.

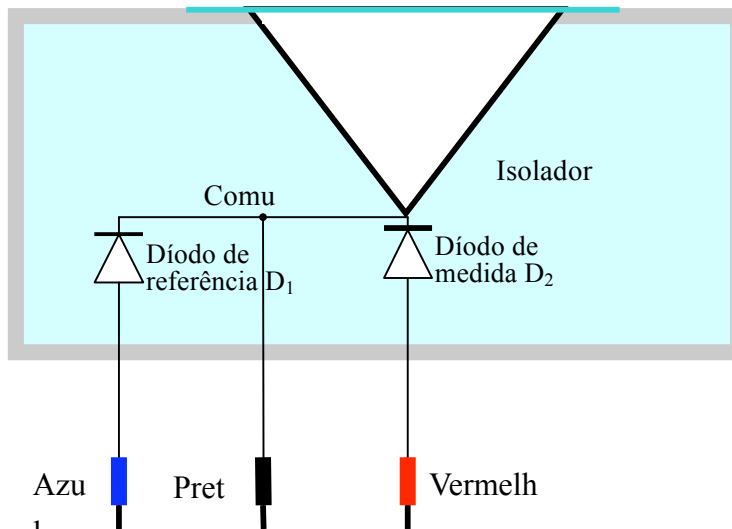


Figura 7. Esquema do detector de radiação

3. Uma caixa de resistências (ver Figura 2).
4. Uma célula solar colada a uma caixa de plástico (Figura 8). Para o cálculo da eficiência, as tiras metálicas devem ser consideradas como parte integrante da célula.
5. Dois multímetros digitais. Quando são usados para medir diferenças de potencial, a sua resistência interna pode ser considerada infinitamente grande. Quando são usados para medir corrente, a sua resistência interna não pode ser desprezada. Quando o multímetro é usado como voltímetro, o erro é de ± 2 vezes a unidade associada ao último dígito. Estes multímetros podem também ser utilizados para medir a temperatura ambiente.

Nota: Para evitar que o multímetro se desligue automaticamente durante as medições, ao colocar o “selector de funções” na função que deseja mantenha pressionado o botão SELECT (ver Figura 9).

6. Uma pilha de 9 V.
7. Um potenciômetro.
8. Um cronômetro.
9. Uma régua com divisões de 1mm.
10. Fios de ligação.
11. Papel milimétrico.

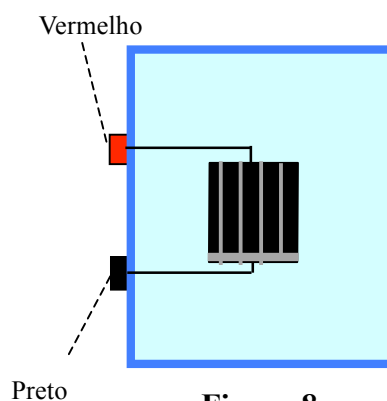


Figura 8
Célula solar

III. Execução experimental

Quando o detector recebe energia por radiação, aquece. Simultaneamente, o detector perde calor através de vários mecanismos, como condução térmica, convecção, emissão de radiação, etc... Devido a este facto, a energia radiativa recebida pelo detector num intervalo de tempo dt é igual à soma da energia necessária para aumentar a temperatura do detector e da energia transferida pelo detector para a sua vizinhança:

$$\Phi dt = CdT + dQ$$

onde C é o calor específico do detector e dos díodos, dT o aumento de temperatura e dQ a perda de calor. Quando a diferença de temperatura entre o detector e a sua vizinhança $\Delta T = T - T_0$ é pequena, pode considerar-se que o calor dQ transferido do detector para a sua vizinhança no intervalo de tempo dt é aproximadamente proporcional a ΔT e dt , i.e. $dQ = k\Delta T dt$, em que k é um factor que tem dimensões W/K. Desta forma, quando k é constante e ΔT é pequeno, tem-se

$$\Phi dt = CdT + k\Delta T dt = C d(\Delta T) + k\Delta T dt$$

$$\text{ou} \quad \frac{d(\Delta T)}{dt} + \frac{k}{C} \Delta T = \frac{\Phi}{C} \quad (4)$$

A solução desta equação diferencial determina a variação da diferença de temperatura ΔT em função do tempo t , a partir do momento que o detector começa a receber a luz com uma taxa de irradiação constante. Se $\Delta T=0$ quando $t=0$, a solução é

$$\Delta T(t) = \frac{\Phi}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{C}t} \right) \quad (5)$$

Quando se desliga a radiação a equação diferencial fica com a forma

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} + \frac{k}{C} \Delta T = 0. \quad (6)$$

Neste caso, a variação de temperatura ΔT apresenta a seguinte dependência com tempo:

$$\Delta T(t) = \Delta T(0) e^{-\frac{k}{C}t} \quad (7)$$

em que $\Delta T(0)$ corresponde à diferença de temperatura no instante $t = 0$ (o momento em que começam as medidas).

1. Determine a temperatura ambiente T_0 .

Problema Experimental

2. Construa um circuito eléctrico que utilize os díodos de silício, a caixa de resistências e os multímetros digitais para medir a temperatura do detector.

De forma a eliminar os erros devido ao período de estabilização da resposta dos instrumentos e dispositivos utilizados na montagem, recomenda-se fortemente que se ligue todo o circuito de medidas 5 minutos antes de se começarem a fazer medidas.

2.1 Coloque o detector debaixo da fonte de luz a uma distância $d = 12$ cm desta. Mantenha a lâmpada desligada. Tome nota dos valores de ΔV durante cerca de 2 minutos, em intervalos de 10s e determine o valor de $\Delta V(T_0)$ na equação (3).

2.2. Ligue a lâmpada e ilumine o detector. Tome nota, uma vez mais, dos valores de ΔV em intervalos de 10 a 15 s. Ao fim de 2 minutos, desligue novamente a lâmpada. Transcreva os valores de ΔV para a folha de respostas. (Nota: as colunas x e y serão usadas a seguir, na secção 4.)

2.3. Afaste o detector da lâmpada. Anote os valores de ΔV durante cerca de 2 minutos em intervalos de 10 a 15 s. Transcreva os valores de ΔV para a folha de respostas. (Nota: as colunas x e y serão usadas a seguir, na secção 3.)

Sugestões: Como o detector possui inércia térmica, é fortemente recomendado não utilizar dados obtidos imediatamente a seguir ao instante em que o detector começa a ser iluminado ou deixa de ser iluminado.

3. Represente num gráfico, num sistema de coordenadas x - y , variáveis x e y escolhidas de forma a provar que depois de se ter desligado a lâmpada, a equação (7) se verifica.

3.1. Escreva a expressão das variáveis x e y .

3.2. Represente o gráfico de y em função de x , designado por Gráfico 5.

3.3. A partir do gráfico determine o valor de k .

4. Represente num gráfico, num sistema de coordenadas x - y , variáveis x e y escolhidas de forma a provar que quando o detector é iluminado se verifica a equação (5).

4.1. Escreva as expressões para as variáveis x e y .

4.2. Represente o gráfico de y em função de x , designado por Gráfico 6.

4.3. Determine a irradiância E na janela do detector.

5. Coloque agora a célula solar no mesmo local onde estava o detector de radiação. Ligue a célula, os multímetros e o potenciómetro num circuito apropriado. O potenciómetro servirá para variar a resistência de carga da célula. Meça a corrente no circuito e a tensão

Problema Experimental

aos terminais da célula para diferentes valores da resistência do potenciômetro.

5.1. Faça o diagrama do circuito utilizado nesta experiência.

5.2. A resistência de carga varia quando se roda o botão do potenciômetro. Anote os valores da corrente I e da tensão na célula V para cada posição do botão.

5.3. Faça um gráfico da potência fornecida pela célula em função da corrente no circuito. Este será o Gráfico 7.

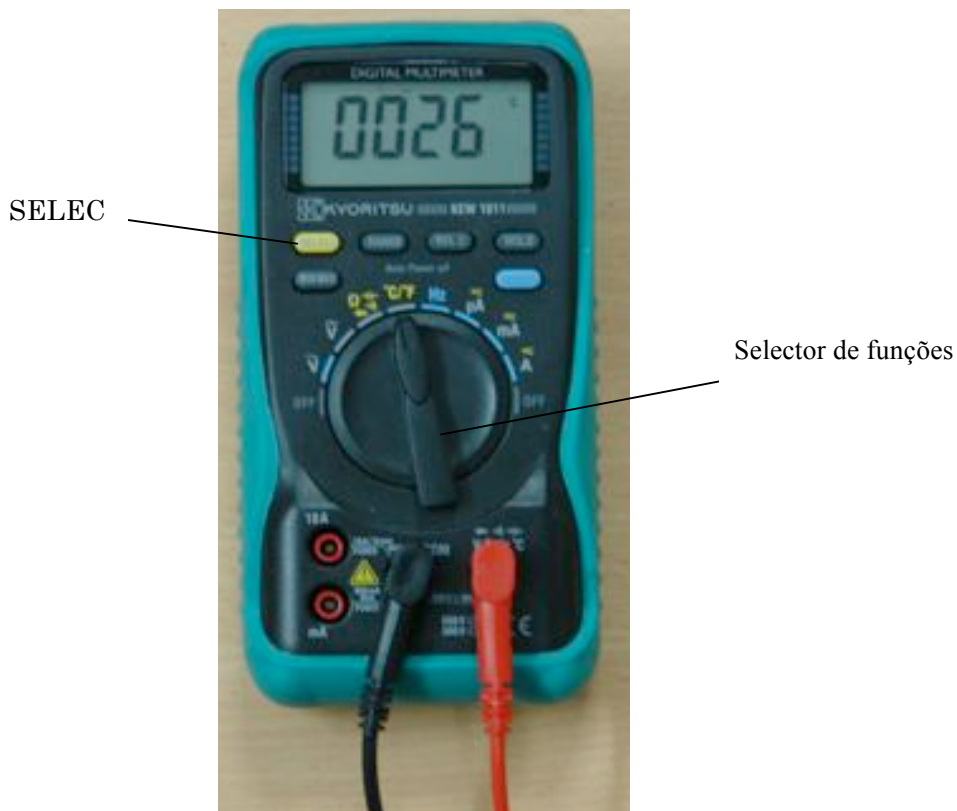
5.4. A partir do gráfico, determine o valor da potência máxima P_{\max} da célula e estime o respectivo erro.

5.5. Escreva a expressão que permite obter a eficiência da célula para este valor de potência máxima. Calcule o seu valor e o respectivo erro.

Conteúdo do kit experimental (veja também a figura 10)

1	Lâmpada de halogéneo 220 V/20 W.	9	Cronómetro.
2	Suporte para pratos.	10	Calculadora.
3	Pratos.	11	Detector de radiação.
4	Multímetro.	12	Célula solar.
5	Caixa de resistências.	13	Potenciómetro.
6	Bateria de 9V.	14	Régua
7	Fios de ligação.	15	Tampa para cobrir os pratos
8	Ampola com a substância cristalina.		

Nota: Para evitar que o multímetro se desligue automaticamente durante as medições, ao colocar o “selector de funções” na função que deseja mantenha pressionado o botão SELEC (ver Figura 9).


Figura 9. Multímetro Digital

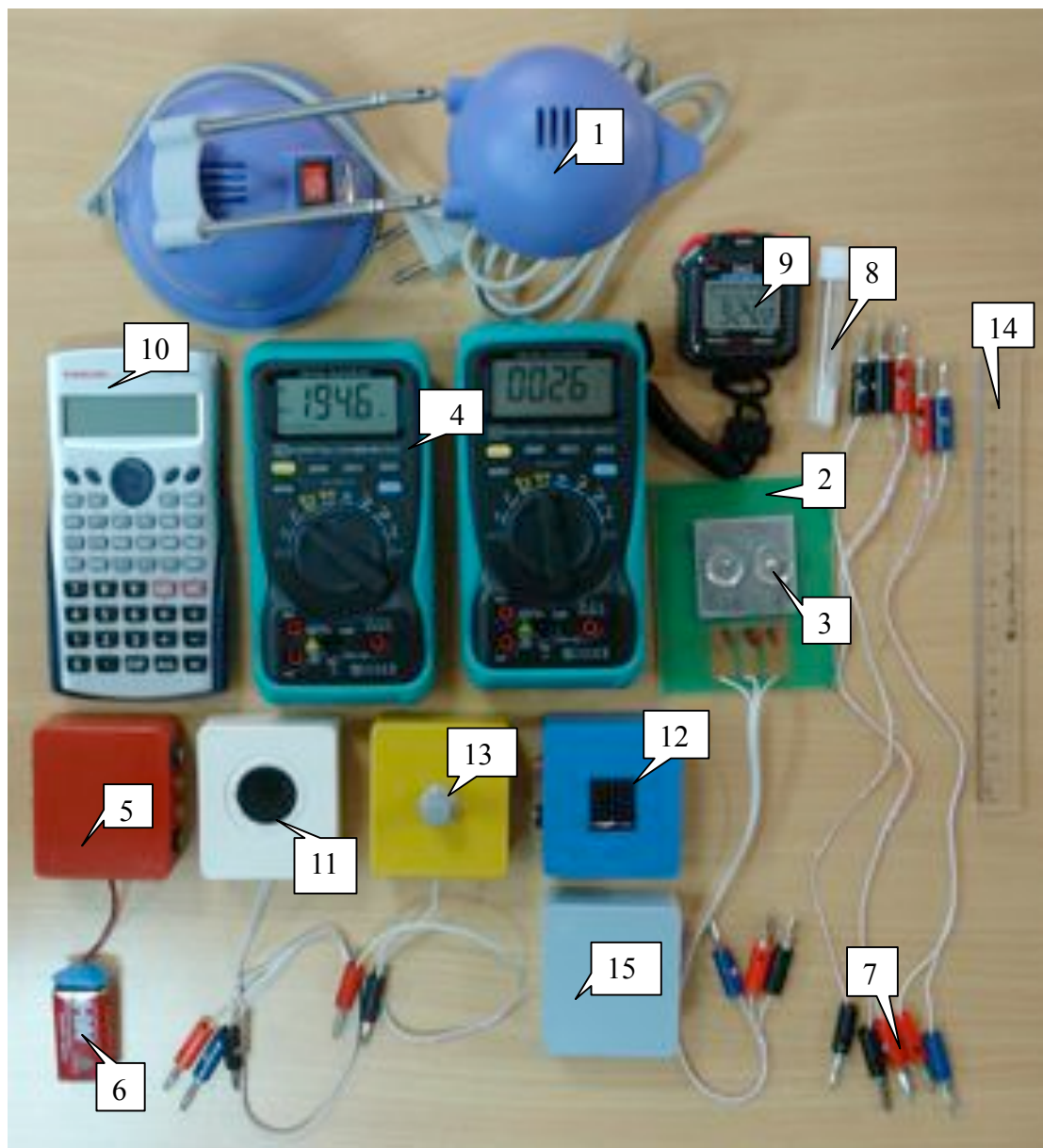


Figura 10. Conteúdo do *kit* experimental

Problema Experimental

Student Code

FOLHA DE RESPOSTAS

**Tarefa 1: Determinação do ponto de fusão de uma substância cristalina
(9,50 pontos)**

1.

1.1.	$T_0 = \dots \pm \dots$	0,25
	$V_{\text{samp}}(T_0) = \dots \pm \dots$	0,25
1.2.	$V_{\text{samp}}(50^\circ \text{C}) = \dots \pm \dots$	0,25
	$V_{\text{samp}}(70^\circ \text{C}) = \dots \pm \dots$	0,25
	$V_{\text{samp}}(80^\circ \text{C}) = \dots \pm \dots$	0,25

Problema Experimental

Student Code

2.2.	Gráfico 1 (faça-o em papel milimétrico)	0,50
2.3.	Gráfico 2 (faça-o em papel milimétrico)	0,50

3.

3,25 pts

3.1.	Medidas obtidas com a substância cristalina no prato da amostra	1,00
------	---	------

[illegible]

Problema Experimental

Student Code

--	--	--	--	--	--	--	--	--

3.2.	Gráfico 3 (faça-o em papel milimétrico)	0,75
3.3.	Gráfico 4 (faça-o em papel milimétrico)	1,50

4.

3,00 pts

4.1.	<p>Marque o ponto correspondente a V_s no gráfico 3 (método tradicional)</p> <p>Escreva o valor de V_s encontrado usando o método tradicional e o respectivo erro:</p> <p>$V_s = \dots \pm \dots$</p>	0,25
	<p>Ponto de fusão:</p> <p>$T_s = \dots \pm \dots$</p>	0,75

4.2.	<p>Marque o ponto correspondente a V_s no gráfico 4 (método termométrico diferencial)</p> <p>Escreva o valor de V_s determinado pelo método termométrico diferencial:</p> <p>$V_s = \dots \pm \dots$</p>	0,50
	<p>Ponto de fusão:</p> <p>$T_s = \dots$</p>	0,50

4.3.	<p>Escreva o valor de T_s determinado pelo método termométrico diferencial e a sua estimativa para o respectivo erro:</p>	0,50
------	--	------

Problema Experimental

Student Code

	$T_s = \dots \pm \dots$	
	Indique os cálculos que realizou para calcular o erro no método termométrico diferencial (utilize a folha seguinte)	0,50

Problema Experimental

Student Code

FOLHA DE RESPOSTAS

Tarefa 2: Determinação da eficiência de uma célula solar
(10,50 pontos)

1. 0,25 pts

1	$T_0 = \dots \pm \dots$	0,25
---	-------------------------	------

2. 1,5 pts

2.1.	Medidas obtidas com a lâmpada desligada (t em segundos, ΔV em mV)	0,25
------	--	------

t	ΔV	t	ΔV	t	ΔV	t	ΔV

	$\Delta V(T_0) = \dots \pm \dots$	0,25
--	-----------------------------------	------

Problema Experimental

Student Code

2.3.	Medidas obtidas após a lâmpada ter sido desligada	0,50
------	---	------

[illegible]

3.

2,5 pts

3.1.	$x =$	0,50
	$y =$	

Problema Experimental

Student Code

3.2.	Gráfico 5 (faça-o em papel milimétrico)	1,00
	A partir do gráfico 5 prove que a equação (7) é satisfeita	0,50
3.3.	$k = \dots\dots\dots$	0,50

4.

2,5 pts

4.1.	$x =$	0,50
	$y =$	

4.2.	Gráfico 6 (faça-o em papel milimétrico)	1,00
	A partir do gráfico 6 prove que a equação (5) é satisfeita	0,50
4.3.	$E = \dots\dots\dots$	0,50

5.

3,75 pts

5.1.	Esquema do circuito	0,50
------	---------------------	------

Problema Experimental

Student Code

5.5.	Expressão analítica para $\eta_{\max} =$	0,25
	$\eta_{\max} = \dots \pm \dots$	0,50
	Calcule o erro em η_{\max} (utilize a folha seguinte para indicar os cálculos que efectuou para obter o erro)	0,75