

Lâmpada

Parte 1 –

Aula 9

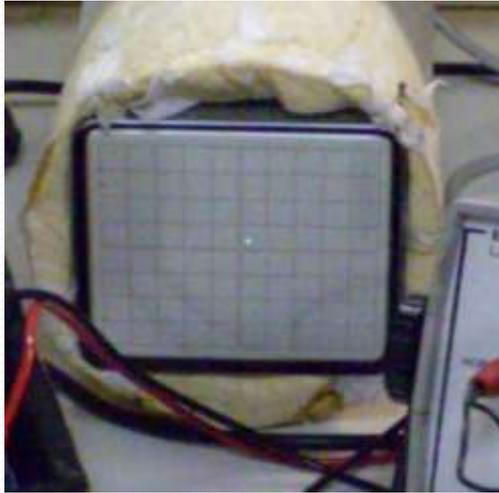
Prof. Henrique Barbosa
Edifício Basílio Jafet - Sala 100

Tel. 3091-6647

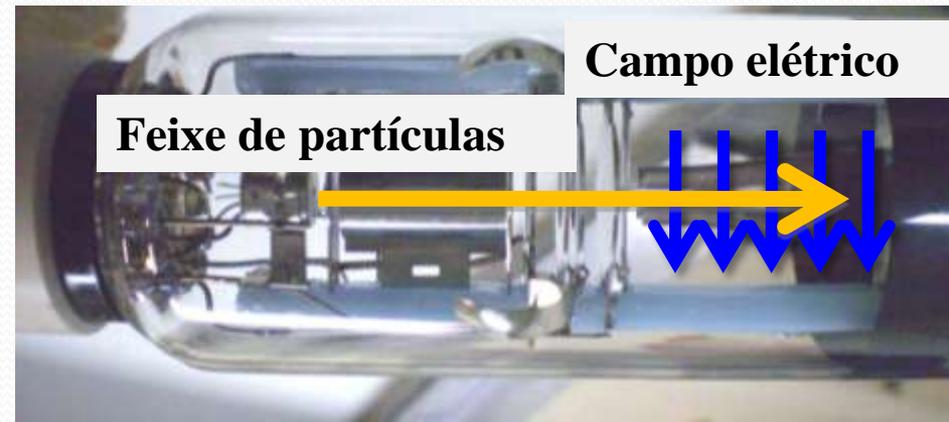
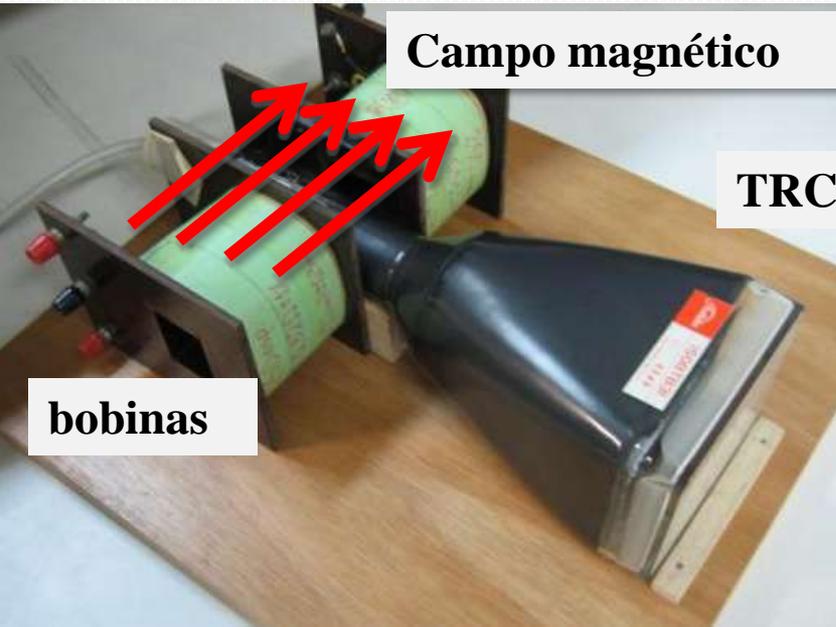
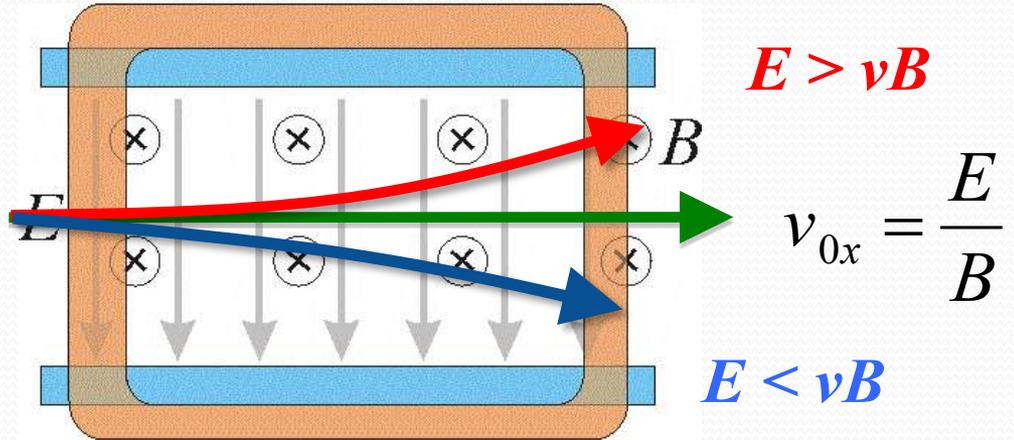
hbarbosa@if.usp.br

<http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa>

O Seletor de Velocidades



$$q < 0$$



Exp. 2 – Seletor de Velocidades

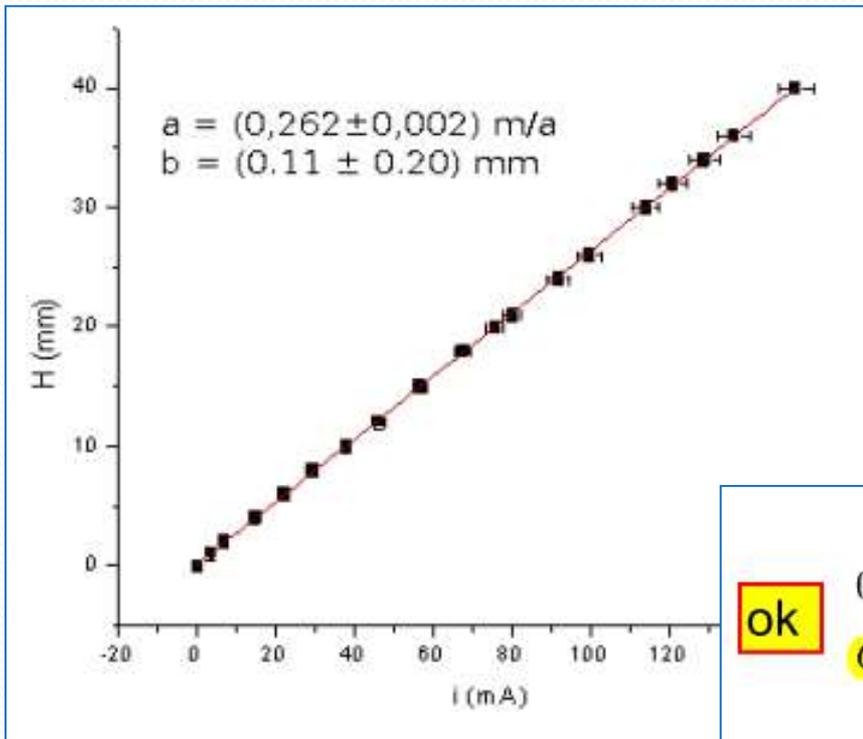
PROGRAMAÇÃO

- Semana 1
 - Colocar o TRC para funcionar e tentar entender o que acontece
- Semana 2
 - Mapear o campo elétrico das placas defletoras
- Semana 3
 - Simular o campo elétrico e estudar a deflexão no campo elétrico
- Semana 4
 - Mapear o campo magnético das bobinas
- Semana 5
 - Simular o campo magnético e estudar a deflexão no campo magnético
- Semana 6
 - Calibrar e obter a resolução do seletor de velocidades

Tarefas da semana

- Campo magnético simulado no femm e superposto aos dados obtidos, indicando a posição das bobinas
 - Principalmente para BL em função de x
 - Refazer os mapeamentos de campo (ou checar) se necessário
- Dependência de H em função da corrente com ajuste apropriado segundo modelo teórico
- Dependência de H em função da tensão de aceleração com ajuste e escala apropriada segundo o modelo teórico
- Obter a constante C e o comprimento efetivo da bobina (L_B) através dos ajustes efetuados e dos dados da semana passada.

H x i



$$H = C \cdot \frac{i}{\sqrt{V_{ac}}}$$

ok

Da figura 1 e da equação 1 temos $\frac{C_1}{\sqrt{V_{ac}}} = (0.262 \pm 0.002) \frac{m}{A}$. Como temos $V_{ac} = (700 \pm 24)V$, obtemos $C_1 = (6.93 \pm 0.13) \frac{m \cdot V^{\frac{1}{2}}}{A}$

O coeficiente linear $b = (0.11 \pm 0.20)mm$ concorda com a predição teórica de 0. Os resíduos pequenos (Figura 2) indicam a adequação do modelo adotado.

nao deveriam repetir o ajuste impondo b=0?

obtidos com i fixo fez-se o ajuste conforme a equação 1:

H x Vac

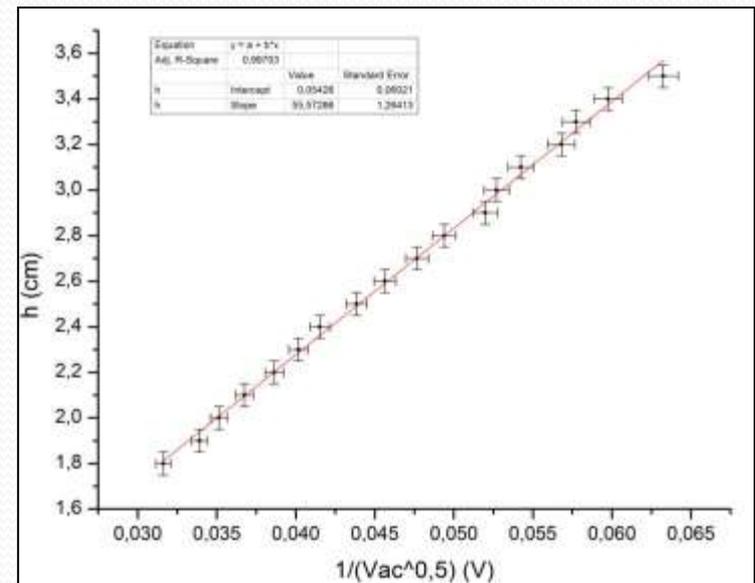
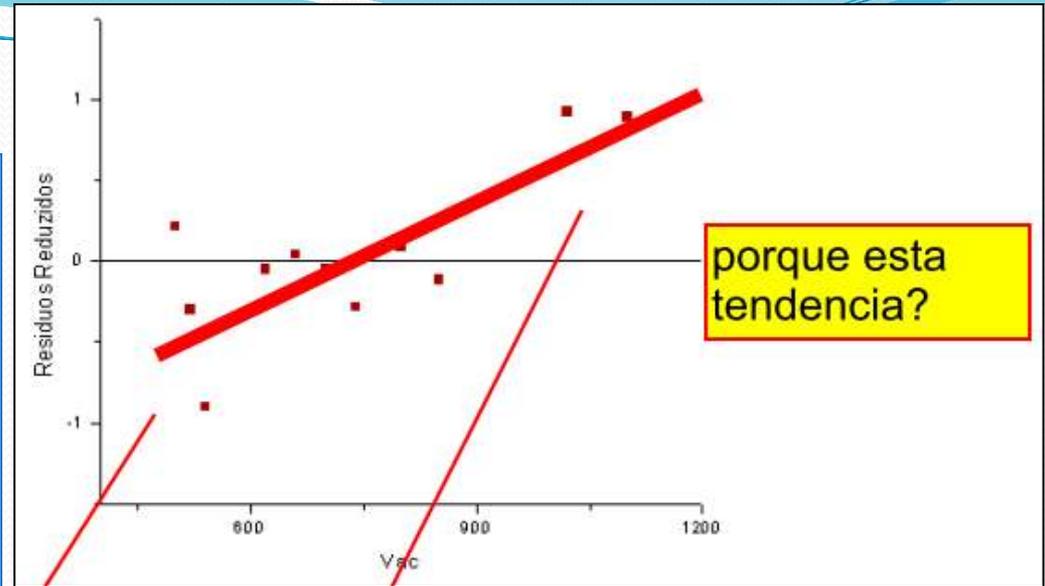
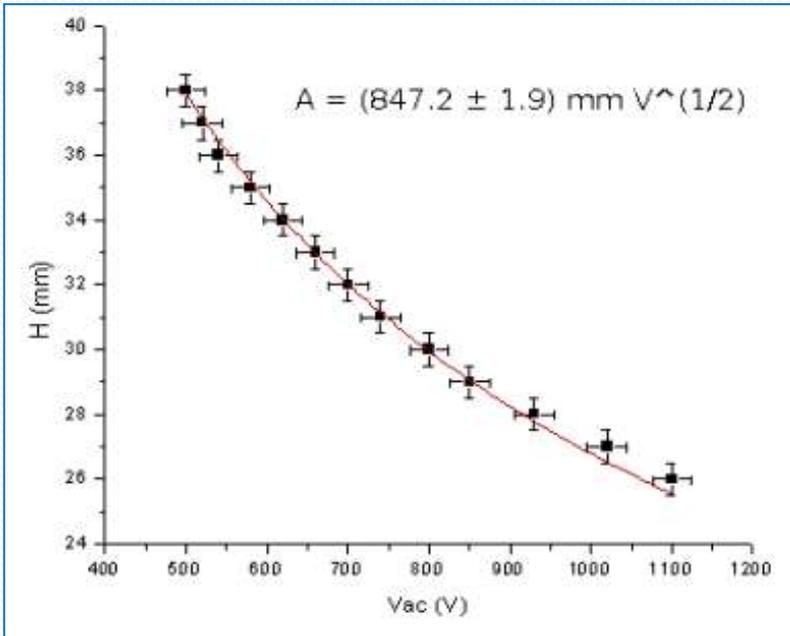


Figura 3 - Gráfico h (cm) x $1/Vac^{0,5}$ (V) com i mantida constante igual a 100 mA

Comparação dos Resultados

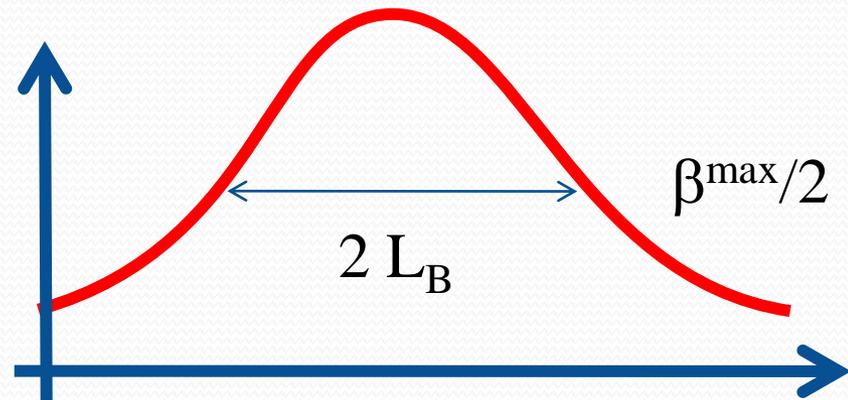
C [m V ^{0.5} A ⁻¹] H x i	C [m V ^{0.5} A ⁻¹] H x Vac	L _B (cm)	L (cm)	β Médio (mT/A)
6.93 (13)	7.04 (21)	13.2 (4)	30.6 (3)	1.16 (4)
7.037 (1303)	7.029 (1097)	15.1 (6)		1.10 (5)
0.004 (2)	14.36 (3)			0.314

Utilizando os dados experimentais de B, considerou-se a região efetiva de atuação do campo magnético toda a região na qual $\beta(x)$, considerada a média das diferentes correntes, é maior ou igual a 10% de β_{max} . Considerando a diferença entre o extremo da região efetiva e o ponto onde temos β_{max} como sendo $\frac{L_B}{2}$, obtemos $L_B = (132 \pm 4)mm$, compatível ($z = 2.6$) com o resultado de $L_B = (15.1 \pm 0.6)cm$ obtido pelo grupo h05. Da geometria da montagem obtemos $L = (306 \pm 3)mm$

Obtidos os valores de C, L e L_B , obtemos da equação 2 o valor $\beta = (1.16 \pm 0.04) \frac{mT}{A}$, compatível ($z = 0.9$) com o resultado de $(1.10 \pm 0.05) \frac{mT}{A}$ encontrado pelo grupo h05.

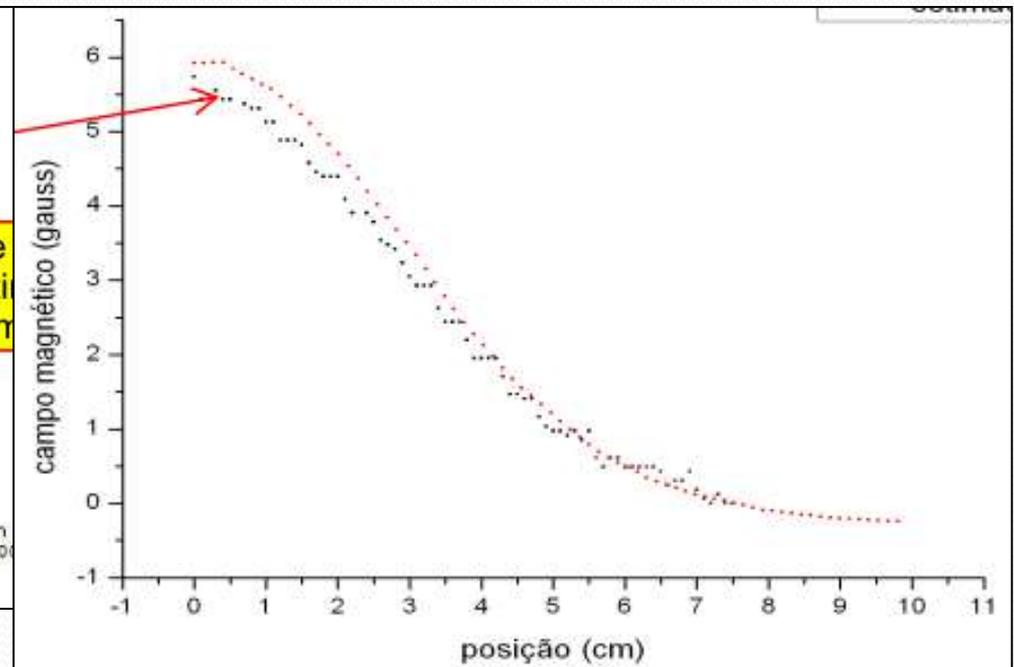
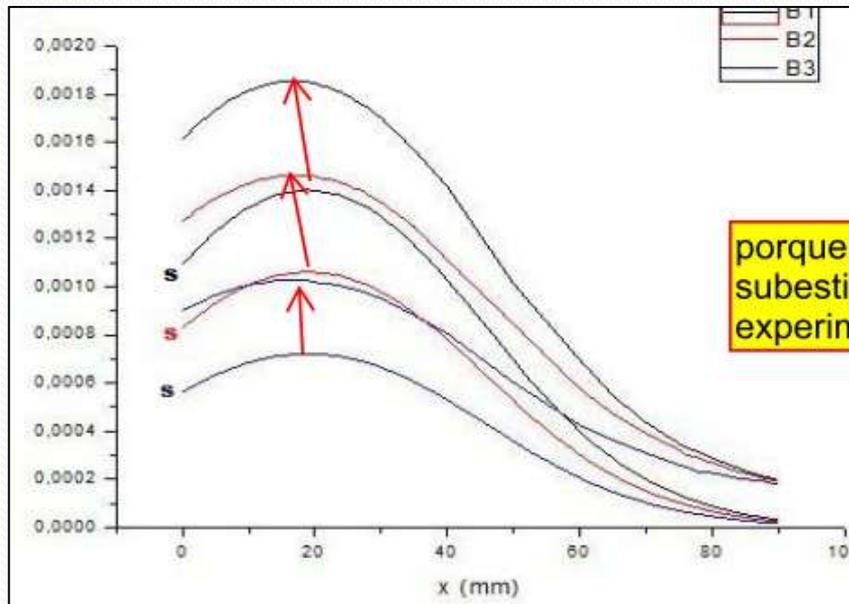
$$C = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{q}{2m}} \cdot L_B L \beta$$

\downarrow \searrow
 Δx $\beta(x)$



Simulação

A primeira avaliação a ser feita será a relação entre o campo magnético esperado e o ajustado. Com os dados da semana anterior, podemos comparar o campo magnético que foi medido pelo sensor Hall com o que seria esperado, que foi definido usando o FEMM. Para essa simulação, como as bobinas não eram perfeitamente circulares, foram usadas as distâncias internas menor e maior, e a partir dessas estimado um "raio equivalente" para a bobina, que consistia no raio que criaria a mesma área que havia no interior da bobina. O mesmo foi feito para o raio externo da bobina. A densidade de corrente na bobina foi encontrada multiplicando-se a corrente na bobina pelo número de espiras, e depois dividindo pela área da secção transversal. Com isso, chegamos a uma estimativa do campo na região por onde passa o feixe de elétrons, e podemos compará-la com os dados obtidos anteriormente. Usando os dados de 0,5A, e 75 pontos para cada curva, temos o seguinte gráfico:



Exp. 2 – Seletor de Velocidades

PROGRAMAÇÃO

- Semana 1
 - Colocar o TRC para funcionar e tentar entender o que acontece
- Semana 2
 - Mapear o campo elétrico das placas defletoras
- Semana 3
 - Simular o campo elétrico e estudar a deflexão no campo elétrico
- Semana 4
 - Mapear o campo magnético das bobinas
- Semana 5
 - Simular o campo magnético e estudar a deflexão no campo magnético
- Semana 6
 - Calibrar e obter a resolução do seletor de velocidades

Atividades da semana (1)

- Verificar se a aproximação teórica para o seletor se aplica
- Calcular a constante k e verificar se a ordem de grandeza é próxima de 1. Discutir os resultados.
- Calibrar o seletor de velocidades
- Obter a constante α que relaciona a velocidade de filtro com a tensão entre as placas e a corrente nas bobinas
 - Um único gráfico com os ajustes de V_p em função da corrente, um curva para cada v_{0x} .
 - Gráfico ajustado de v_{0x} em função de V_p/i , pontos estes obtido dos ajustes acima.
 - Obtenha a distância efetiva entre as placas (d) e compare com valores obtidos anteriormente.
- Discuta os resultados obtidos.

Tarefas desta semana (2.1)

- ▶ 1- Selecione uma velocidade \mathbf{v}_x para passar sem desvio $\rightarrow V_{AC} \rightarrow$ uma razão V_p/i .
- ▶ 2- Varie V_{AC} , e, portanto \mathbf{v}_x , mantendo a razão V_p/i constante e levante a curva deslocamento $\mathbf{z} \times \mathbf{v}_x$.
- ▶ 3- Varie o valor de V_p e i , **mantendo a razão constante**, levante outra curva $\mathbf{z} \times \mathbf{v}_x$.
- ▶ Repita esse procedimento para no mínimo **3** valores diferentes de V_p e i sempre mantendo a razão constante

Tarefas desta semana (2.2)

- ▶ 4- A partir da incerteza do deslocamento z , no gráfico $z \times v_x$, calcule a dispersão em $v_x \rightarrow \Delta v_x$, para cada uma das curvas medidas.
- 5- Calcule a resolução em velocidade do instrumento para cada uma das curvas medidas.

$$R = \frac{\Delta v_x}{v_x}$$

- ▶ 6- Comente suas observações, discuta o funcionamento do instrumento sob o ponto de vista da resolução.

Lâmpada de Filamento



Luz

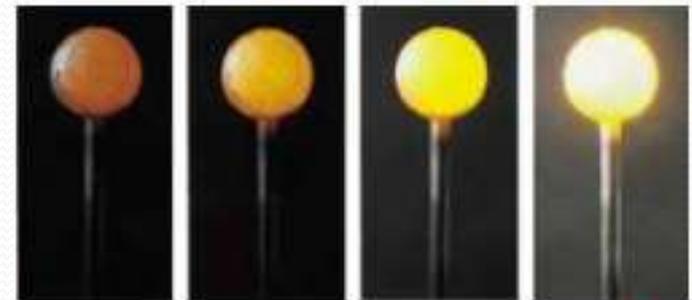


- Luz é uma parte do espectro eletromagnético a qual o nosso olho é sensível
- Os objetos são visíveis ao olho humano porque:
 - Refletem a luz incidente
 - Emitem luz
- Nas temperaturas em que vivemos a maioria dos objetos são visíveis pela luz que refletem
- Em temperaturas suficientemente altas eles passam a ter luz própria



Radiação Térmica

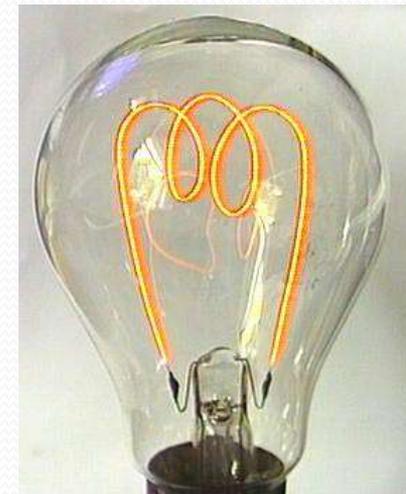
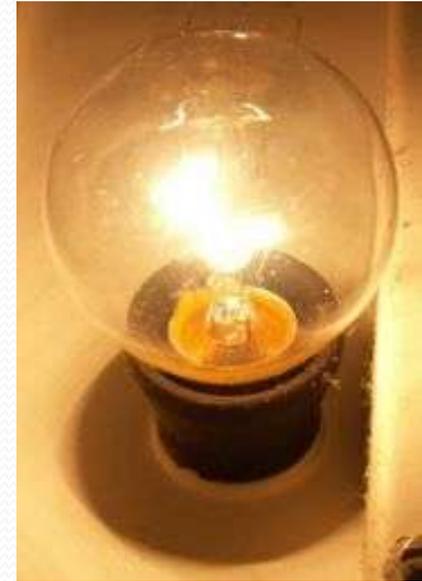
- O objeto aquecido a uma temperatura relativamente baixa: irradia calor (Infra Ver.) que não é visível para nós
- Aumentando a temperatura a quantidade de radiação emitida aumenta rapidamente e se nota que a cor da luz emitida também muda
- Na verdade um objeto aquecido emite e absorve radiação térmica de todas as frequências, mas com o aumento da temperatura mais radiação é emitida e a frequência da radiação mais intensa aumenta



$T(K)$

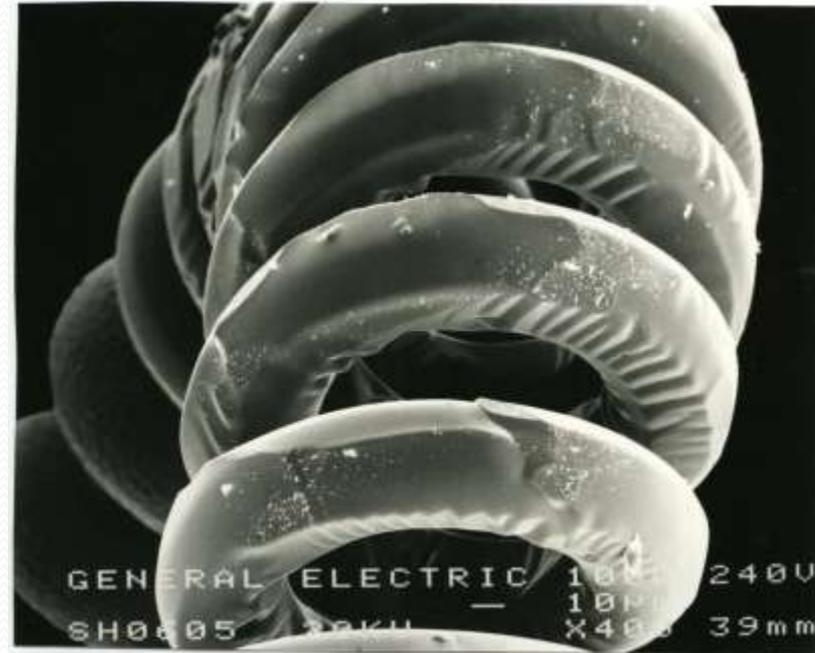
Lâmpada incandescente

- Lâmpada: filamento metálico envolto por um bulbo de vidro selado que contém um gás a baixa pressão.
 - prevenir que oxigênio entre em contato com o filamento o que provocaria sua destruição por oxidação. Apesar disso o filamento sofre um processo de evaporação.
- **Vantagem:** é barata.
- **Desvantagem:** o metal do filamento sofre evaporação e se deposita nas paredes do bulbo, escurecendo-o. Quanto mais alta é a temperatura do filamento mais intensa é a evaporação e mais curta a vida do filamento. A luz é amarelada, perde calor para o meio ambiente.



O filamento

- O filamento é aquecido pela
- passagem de corrente elétrica.
 - O mais comum é de tungstênio, ele é aquecido a uma temperatura suficientemente elevada
 - para que luz visível seja emitida.
 - O tungstênio tem o ponto de fusão mais elevado de todos os metais (3410°C).
 - E mantém suas características físicas (dureza, elasticidade) mesmo em altas temperaturas



**O tungstênio é ideal
para filamento de
lâmpada
incandescente**

A resistência da lâmpada



- Vocês mediram com o ohmímetro a resistência da lâmpada de 100W ,na primeira aula:
 - Era de **25-30 Ω**
- De acordo com o fabricante, uma lâmpada de 100W funciona em:
 - **$V = 110\text{ V}$ e $P = 100\text{ W}$**
 - Se usarmos **$P = V^2/R$** obtemos:
 - **$R = 121\Omega$**
- Porque a discrepância entre a medida realizada e o valor calculado a partir dos dados do fabricante?

Problema a ser investigado

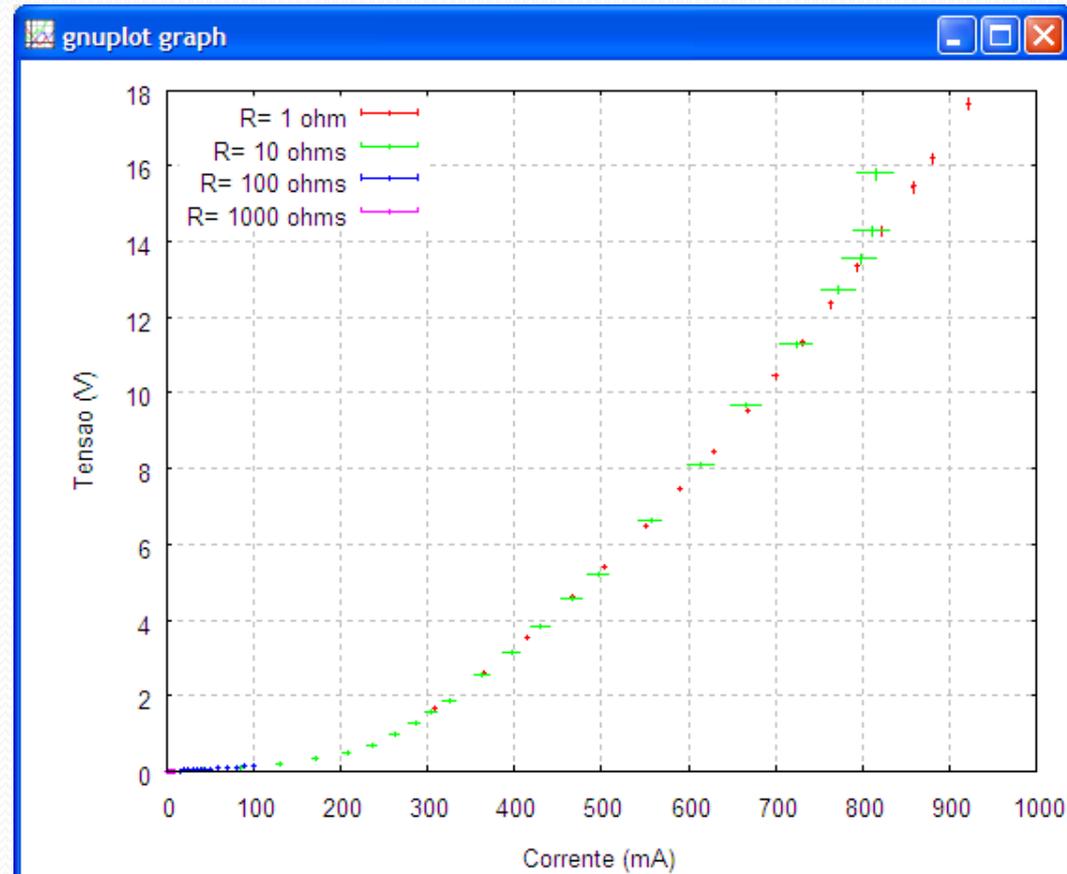
- Quando utilizamos uma lâmpada transferimos potência elétrica ($P = V i$) para a lâmpada.
- Como esta potência é utilizada?
 - Existe uma relação entre a potência e o aquecimento da lâmpada?
 - Isso pode alterar as características elétricas da lâmpada, como a resistência?
- Como é a luz emitida por uma lâmpada?

Atividades da Semana (parte 1)

- Medir a curva característica de uma lâmpada comum de automóvel
 - Valores nominais: 10 W, 12V
 - Qual circuito (1 ou 2) é mais adequado? Discuta.
 - Levantar a curva característica desde tensões baixas na lâmpada até a tensão de operação (na lâmpada).
- Qual é a potência na qual a lâmpada começa a emitir luz? Discuta, levando em consideração a subjetividade dessa medida.
- Como a resistência depende da potência fornecida? Compare com o esperado nominalmente.

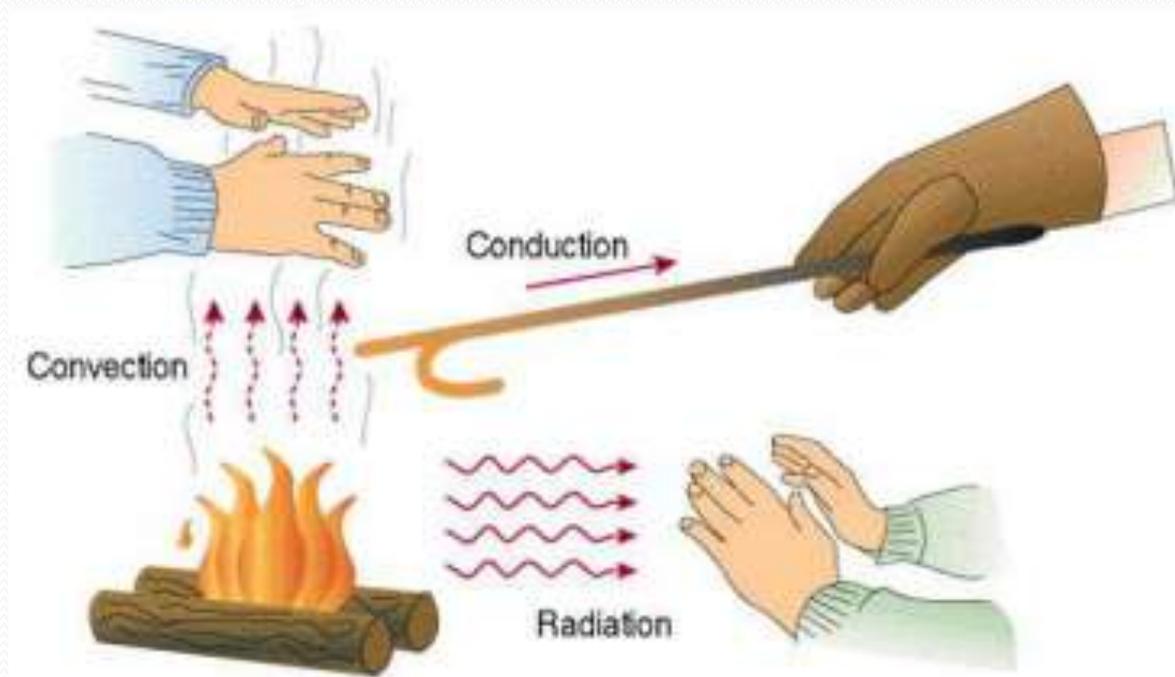
O que se espera?

- Usei diferentes resistores auxiliares para trabalhar em diferentes faixas de corrente (nossa fonte só vai de 0-30V)
- O comportamento é não linear, o que significa que a resistência muda com a tensão/corrente aplicada!
- Obviamente o brilho (e a temperatura) da lâmpada também mudam com a tensão/corrente...



Transferência de Calor (física 2)

- Ao transferir potência para uma lâmpada (ou resistor) esta potência tem que ser dissipada (assumindo que a temperatura do objeto está em equilíbrio).
- Como?
- 3 métodos de troca de calor
 - Condução térmica
 - Convecção
 - Irradiação



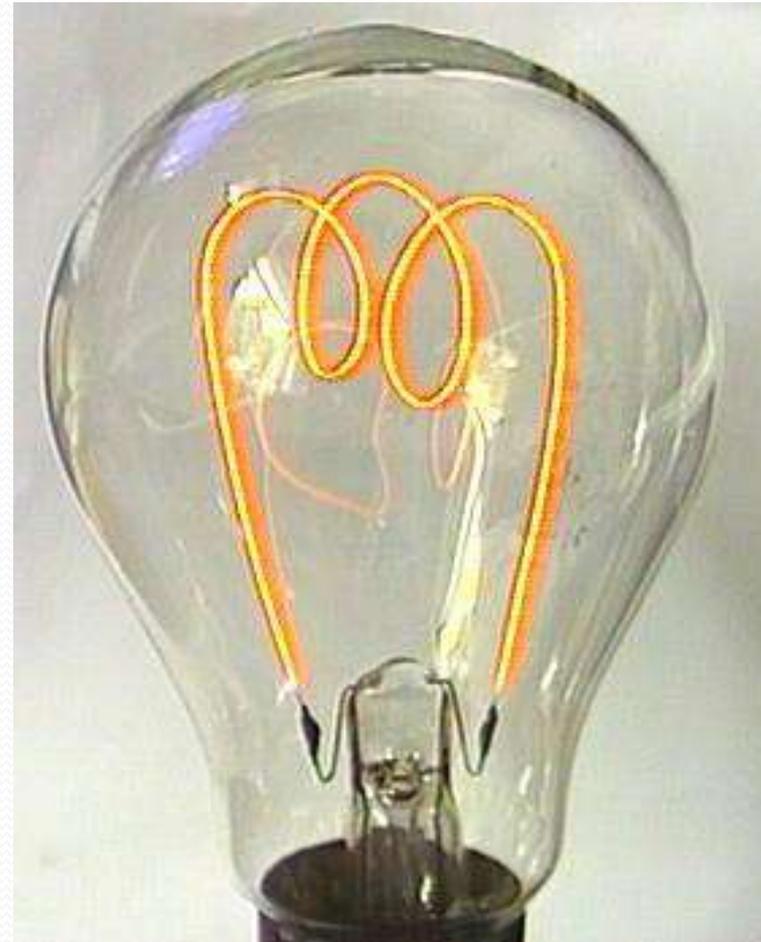
Transferência de Calor

- Condução térmica (ex. chuveiro elétrico)
 - O calor é trocado por contato direto entre dois corpos
- Convecção (ex. panela de água)
 - Troca de calor através do movimento do fluido aquecido
- Irradiação (ex. sol)
 - Emissão de radiação eletromagnética
 - Qualquer corpo aquecido emite e absorve radiação



Troca de calor em uma Lâmpada

- Filamento aquecido + gás
 - Irradiação do filamento aquecido
 - Condução pelo filamento/suporte
 - Convecção no gás
- Como investigar estas hipóteses?
 - Medindo potência em função da temperatura da lâmpada
 - O que nós esperamos desta curva?
- O que é esperado para condução, convecção e irradiação?



Condução

- Lei de Fourier para condução de calor
 - Transferência de energia entre moléculas de um corpo devido à diferença de temperatura
 - Fluxo de calor é proporcional à diferença de temperatura

$$\vec{q} = -k\vec{\nabla}T \xrightarrow{1D} q = -k_x \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

\vec{q} = fluxo de calor [W/m²]

k = condutividade do material

Convecção

- Convecção ocorre com movimento de matéria. Depende de vários fatores
 - Forma do volume
 - Direção de convecção (vertical/horizontal)
 - Gás ou líquido
 - Propriedades do fluído: densidade, viscosidade, condutividade térmica, calor específico, etc.
 - Velocidade de convecção: laminar ou turbulento
 - Se há evaporação, condensação, etc.

$$P_{convecção} \propto \Delta T^\alpha$$

Convecção

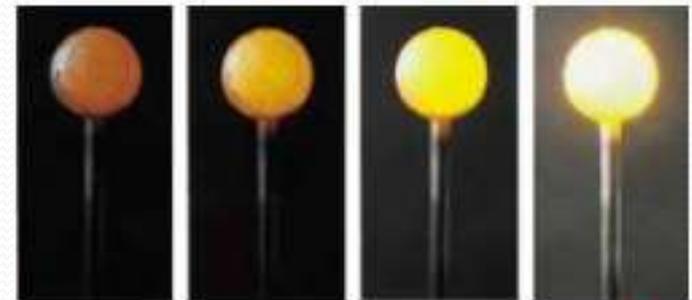
- A potência perdida por convecção é mais significativa para temperaturas mais baixas. Nessas temperaturas, a lâmpada também emite no infravermelho, mas a convecção predomina.
- Foi medido empiricamente e se verifica que:

$$P_{convec} \propto (T - T_0)^\alpha$$

- Onde **T** é a temperatura do filamento, **T₀** é a temperatura ambiente e o coeficiente **α** é da ordem de 1,38.
 - B. S. N. Prasad and Rita Mascarenhas, Am. J. Phys. 46, 420 (1978).
- Para temperaturas mais altas, a emissão por radiação deve predominar

Radiação Térmica

- O objeto aquecido a uma temperatura relativamente baixa: irradia calor (Infra Ver.) que não é visível para nós
- Aumentando a temperatura a quantidade de radiação emitida aumenta rapidamente e se nota que a cor da luz emitida também muda
- Na verdade um objeto aquecido emite e absorve radiação térmica de todas as frequências, mas com o aumento da temperatura mais radiação é emitida e a frequência da radiação mais intensa aumenta



$T(K)$

Radiação

- Em 1879 J. Stefan verificou empiricamente que a potência emitida na forma de radiação por um objeto era proporcional à quarta potência de sua temperatura:

$$P_{rad} \propto T^4$$

- P_{rad} é a energia emitida por unidade de tempo, por unidade de área de um corpo a uma temperatura T .
- Em 1884 Boltzmann demonstrou essa lei teoricamente para o caso de um corpo negro.
 - Constante de Stefan-Boltzmann: $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

Balanço de Energia

- Um corpo a temperatura T em um meio a temperatura T_0 .
 - Emite radiação para o meio mas também absorve radiação do próprio meio!
- Emissão de radiação (Lei de S.B.)

$$P_{rad}^{Emitida} = S\varepsilon\sigma T^4$$

- ε é a emissividade do corpo e depende do material. $\varepsilon = 1$ significa um corpo negro ideal. S é um fator geométrico.

$$P_{rad}^{Absorvida} = S\mu\sigma T_0^4$$

- Absorção de radiação do meio (Lei de S.B.)
 - μ é a absorptância do corpo e depende do material. $\mu = 1$ significa um corpo negro ideal. S é um fator geométrico

Balanço de Energia

- Levando em consideração os três métodos de troca de calor

$$P_{\text{total}} = P_{\text{condução}} + P_{\text{convecção}} + P_{\text{irradiação}}$$

- Podemos SUPOR que a condução seja baixa, ou seja:

$$P_{\text{total}} \approx P_{\text{convecção}} + P_{\text{irradiação}}$$

- Assim, temos que:

$$P_{\text{total}} = A.\Delta T^\alpha + B.T^4 - C.T_0^4$$

- Ou seja, para estudar os mecanismos de troca de calor de uma lâmpada precisamos estudar a dependência da potência com a temperatura do filamento

O que é preciso fazer?

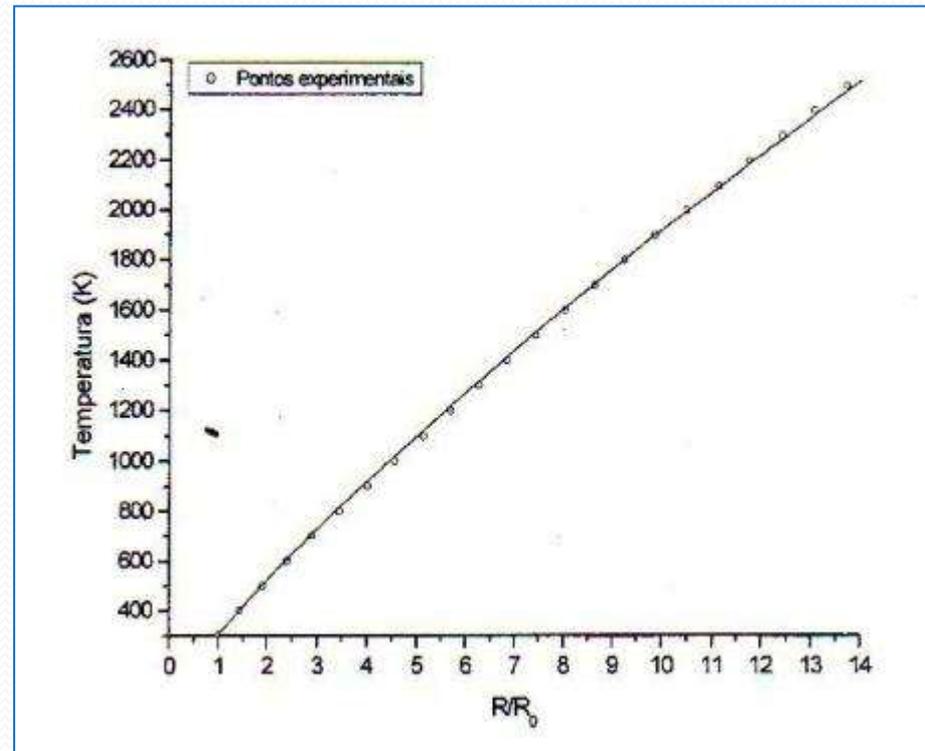
- Precisamos medir **P**. Como?
 - Basta medir **V** e **i** e calcular **$P=V i$**
- Precisamos medir **T**. Como?
 - Termômetro?
 - A temperatura do filamento é a mesma do invólucro da lâmpada?
 - Que outras alternativas nós temos?
- A resistência não depende da temperatura (ou vice-versa)?
Será que há alguém já fez essa medida?
 - W. E. Forsythe and A. G. Worthing, *Astrophys. J.* 61, 146 (1925).
 - H. A. Jones, *Phys. Rev.* 28, 202 (1926).
 - W. E. Forsythe and E. M. Watson, *J. Opt. Soc. Am.* 24, 114 (1934).

Tungstênio: resistência x temperatura

- Fórmula empírica, obtida a partir de dados experimentais:

$$\frac{R}{R_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1,24}$$

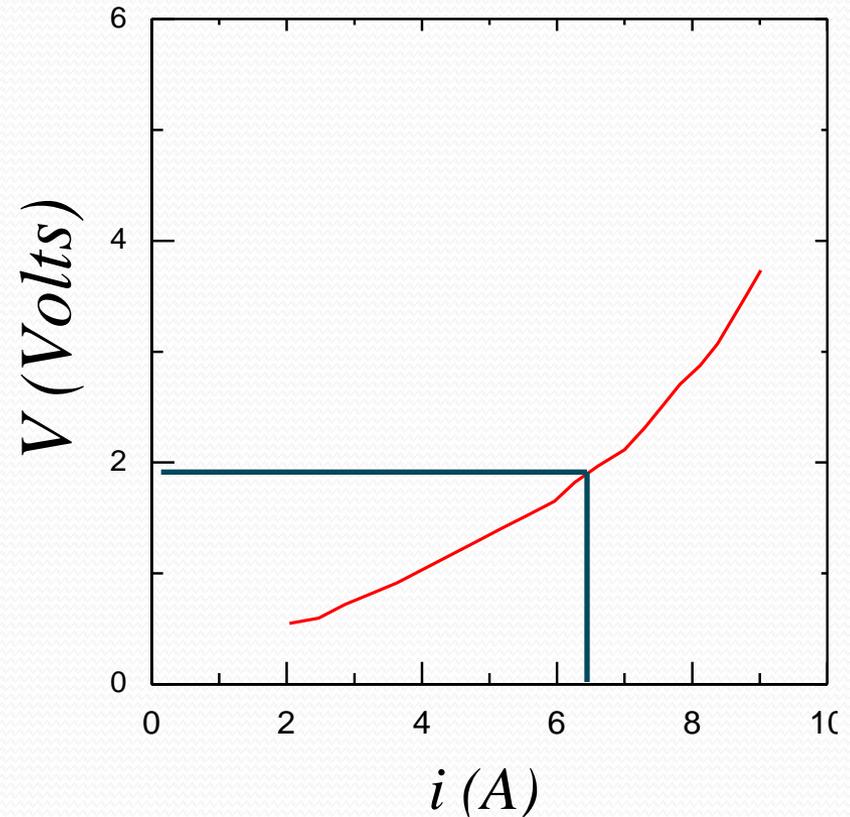
- **R** = resistência do filamento na temperatura **T**
- **R₀** = resistência do filamento na temperatura **T₀**
 - **T₀** = temperatura da sala
 - **R₀** depende da fabricação da lâmpada, para a lâmpada usada é **1.2Ω(+/-5%)**, mas vão medir.



Ver link “outros documentos”
no site do LabFlex para
referências experimentais

Medindo a resistência

- Com a resistência do filamento e com o valor da resistência à temperatura ambiente (vão medir) determina-se a temperatura naquela condição.
- Então, na verdade, é preciso medir o valor de R para cada condição de potência fornecida. Como?
 - Fazendo a curva característica da lâmpada.
 - E medindo o valor de R em cada ponto: $R=V/i$.



Tarefas da semana (2)

Como medir R_0 ?

- Ohmímetro
 - A potência do ohmímetro é realmente baixa para assegurar que a lâmpada não esquentou?
- Extrapolação da curva para correntes muito pequenas
 - Da curva característica pode-se obter $R \times i$ e extrapolar para $i = 0$.
 - Qual a precisão desse procedimento?
- Realizar medidas em correntes realmente baixas
 - Como limitar a corrente?
 - Utilizando um resistor elevado entre **5** e **10 k Ω** .
 - Qual a precisão desse método já que $V_{\text{lâmpada}} \ll V_R$?

O valor esperado é **1.0-1.2 ohm**. Se seu valor for muito diferente, discuta!!
... E use **$R_0=1.1\text{ohm}$** no cálculo da temperatura, para que os outros resultados não fiquem ruins.

Tarefas da semana (3)

- Fazer 2 gráficos: da potência em função da temperatura, T , e outro da potência em função de $(T-T_0)$ e ver qual é o valor do coeficiente angular.
 - Analise as 2 curvas e veja se é possível descobrir a relação funcional de $P \times T$ e $P \times (T-T_0)$.
 - Comente os resultados, dá para justificar os comportamentos observados?
 - Compare seus resultados com a previsão acima e com os resultados de seus colegas.
- Lembre-se da conservação de energia e das diferentes maneira da lâmpada dissipar a energia recebida

DICAS IMPORTANTES

- Meça a curva característica da lâmpada diretamente no **DataStudio** , utilizando a fonte de corrente contínua de 30V, um **resistor auxiliar** e os **voltímetros da interface**.
 - Você pode usar a função KEEP, mas ela só guarda o valor instantâneo
 - Você pode pedir para o **DS** te mostrar a média e o desvio das medidas que ele está fazendo
- Substitua um amperímetro por um voltímetro e um resistor em paralelo. Meça a voltagem no resistor e use a relação **$R = V/i$** para calcular a corrente
- A lâmpada é um modelo para luz traseira de automóvel, de **10W** e **12V**:
 - Você não pode queimar a lâmpada, portanto preste atenção no que está fazendo e não passe de **10W** e **12V**
- Cada vez que subir a voltagem tem que esperar até a temperatura do filamento estabilizar para fazer a medida.