



Universidade de São Paulo

Instituto de Física
4323202 - Física Experimental B

CURVAS CARACTERÍSTICAS

Este texto descreve o procedimento experimental para o estudo de curvas características de elementos resistivos. Atenção a influência dos multímetros nas medidas.

1 Objetivos

O objetivo do experimento é estudar o comportamento de resistores comerciais e de uma lâmpada incandescente através da análise de suas curvas características. Para isso, vamos utilizar 2 circuitos elétricos, que irão permitir investigar a influência dos instrumentos (voltímetro e amperímetro) na determinação experimental das resistências dos resistores. Por fim, usaremos a lâmpada incandescente para testar a validade da Lei de Stefan-Boltzmann.

2 Introdução

Corrente elétrica é definida como o fluxo de elétrons que circula em uma direção preferencial por um condutor quando entre suas extremidades houver uma diferença de potencial. De forma quantitativa, corrente elétrica pode ser escrita como a quantidade de carga que atravessa a seção reta de um condutor por unidade de tempo

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad (1)$$

sendo q e t carga e tempo, respectivamente. A unidade de corrente no S.I. é o ampère. De acordo com a primeira Lei de Ohm, corrente elétrica, diferença de potencial (tensão) e resistência podem ser relacionados através de

$$V = Ri, \quad (2)$$

onde V é a diferença de potencial, i a corrente elétrica e R a resistência elétrica, que está relacionada a dificuldade do trânsito dos elétrons livres através de um determinado material condutor.

Chamamos um gráfico da corrente elétrica i em função da tensão V de curva característica. De maneira geral, estes gráficos servem para caracterizar o comportamento de um bipolo. De acordo com a Eq. 2, se o elemento resistivo estudado for ôhmico, a relação existente entre i e V é linear, e R corresponde ao coeficiente angular da reta que passa pela origem. Por outro lado, para elementos não-ôhmicos, a curva observada não apresenta um comportamento linear, já que a resistência varia para diferentes pares (i, V) .

3 Procedimento Experimental

O experimento será dividido em duas partes. Na primeira, estudaremos dois resistores com diferentes valores de resistência. Para tanto, utilizaremos dois circuitos elétricos diferentes. Na segunda parte, estudaremos o comportamento de uma lâmpada incandescente. Utilizaremos um resistor de proteção de 47Ω para impedir a passagem de altas correntes nos dois circuitos.

3.1 Resistores

Antes de iniciar a tomada de dados experimentais, é preciso determinar a corrente máxima de trabalho suportada pelos resistores para não queimá-los. Utilize a expressão

$$i_{m\acute{a}x} = \sqrt{P_{res}/R_x}, \quad (3)$$

onde P_{res} corresponde a potência elétrica máxima dissipada por um resistor de resistência R_x . O valor nominal dos resistores e de suas correspondentes potências elétricas são fornecidos na tabela 1. Considere a incerteza dos resistores como sendo 5% dos valores nominais e despreze a incerteza da potência. Como teremos sempre dois resistores montados no circuito, adote $i_{m\acute{a}x}$ como sendo o menor valor calculado entre eles.

Valor nominal [Ω]	Potência [W]
1	2.5
10	5.0
1 M	1/16
6.8 M	1/16
47	2.5

Tabela 1: Valores nominais dos resistores utilizados no experimento.

Conforme instruções fornecidas na vídeoaula “Experimento-Virtual” postada no portal e-Aulas, monte o circuito ilustrado na figura 1 (Circuito 1 do experimento). Para iniciar as medidas, é preciso conectar corretamente o voltímetro e o amperímetro ao circuito. Para cada resistor R_x fornecido, varie a tensão na fonte DC, tomando cuidado para que a corrente não ultrapasse $i_{m\acute{a}x}$.

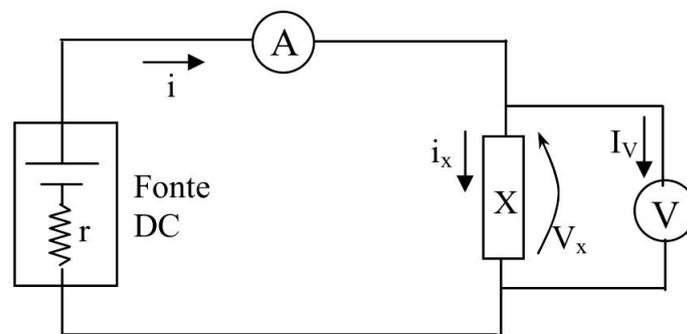


Figura 1: Circuito 1 utilizado para estudo de resistores e da lâmpada incandescente.

1. Anote os valores de corrente (amperímetro) e tensão (voltímetro) fornecidos pelos multímetros. Obtenha pelo menos **15** valores de tensão e corrente para cada resistor, variando a tensão na fonte entre 1 e 20 V. Registre os valores medidos na planilha fornecida na página da disciplina. Registre também os valores das incertezas, adotando $\pm(0.8\% + 4D)$ para a tensão e $\pm(1.2\% + 4D)$ para a corrente.
2. Usando um software de sua preferência, grafique os pontos medidos e ajuste uma reta. No gráfico, inclua os resultados do ajuste, nomeie os eixos X e Y e coloque um título.
3. Repita o procedimento experimental para o circuito ilustrado na figura 2 (Circuito 2 do experimento).

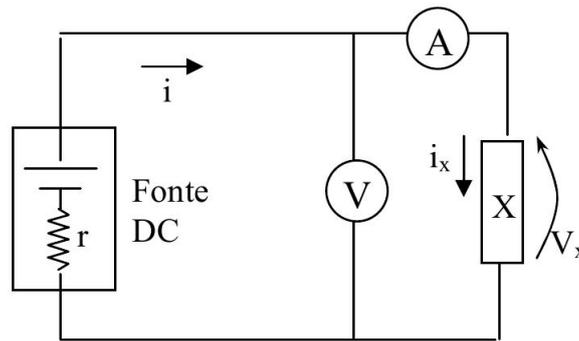


Figura 2: Circuito 2 utilizado para estudo de resistores e da lâmpada incandescente.

3.2 Lâmpada incandescente

Uma lâmpada incandescente é um elemento resistivo cujo valor de sua resistência varia com a temperatura. Para inibir sua evaporação, o filamento metálico de uma lâmpada incandescente é colocado dentro de um invólucro de vidro preenchido com gás inerte. A pressão no invólucro deve ser suficientemente baixa para reduzir perdas de calor por condução e convecção. Desta forma, o filamento pode atingir altas temperaturas sem oxidar, queimar ou sublimar, com perdas de energia sob forma de calor economicamente aceitáveis.

Ao conectar uma lâmpada a um circuito percorrido por uma corrente i_L sob uma tensão V_L , será transferida uma potência elétrica $P_L = i_L \times V_L$ para o filamento. A potência é parcialmente convertida em energia luminosa (a maior parte no infravermelho e apenas 10% no visível) e também parcialmente perdida por condução térmica do gás isolante.

Em 1879, Josef Stefan verificou experimentalmente que um corpo aquecido irradia energia a uma taxa proporcional à quarta potência de sua temperatura. A relação, teoricamente provada por L. Boltzmann em 1884, resultou na lei de Stefan-Boltzmann para a potência da radiação de corpo negro

$$P_{rad} = \varepsilon A \sigma T^4 \quad (4)$$

onde $\sigma = 5.670367(13) \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ é a constante de Stefan-Boltzmann, A é a área da superfície do corpo emissor e $0 \leq \varepsilon \leq 1$ é um coeficiente que indica a emissividade do corpo aquecido.

Em razão da baixa condutividade térmica do gás na lâmpada e a alta temperatura do filamento (muito maior que a temperatura ambiente) vamos considerar, em primeira aproximação, que toda a potência elétrica consumida pela lâmpada seja emitida como radiação (infravermelho + luz visível). Dessa forma, a Lei de Stefan-Boltzmann pode ser estudada fazendo

$$P_{elétrico} = P_{rad} = \varepsilon A \sigma T^4, \quad (5)$$

que pode ser linearizada para uma reta aplicando log em ambos os lados

$$\log(P_{elétrico}) = \beta + \alpha \times \log(T). \quad (6)$$

A constante $\beta = \log(\varepsilon A \sigma)$ é difícil de ser comprovada experimentalmente, mas a dependência funcional $\alpha \sim 4$ pode ser testada para comprovar em parte a validade da lei.

Para estudar o comportamento de uma lâmpada incandescente vamos levantar sua curva característica utilizando um procedimento experimental análogo ao adotado para o resistor.

1. Utilize o circuito ilustrado na figura 1 (Circuito 1 do experimento) para levantar a curva característica da lâmpada incandescente. Para valores pequenos de V e i (quando a lâmpada ainda não emite luz no espectro visível) sua curva característica é aproximadamente a de um elemento ôhmico.

- Meça **15** valores para a tensão (no voltímetro), em função da corrente (no amperímetro). Escolha **5** valores entre $0.1 < V < 0.6$ volts (utilizados para determinação de R_0) e **10** entre $1 < V < 15$ volts. Registre os valores medidos na planilha fornecida na página da disciplina. Lembre-se de anotar os valores das incertezas, adotando $\pm(0.8\% + 4D)$ para a tensão e $\pm(1.2\% + 4D)$ para a corrente.
- Usando um software de sua preferência, construa um gráfico de $i \times V$. Não se esqueça de nomear os eixos X e Y e atribuir um título ao gráfico.
- Faça um outro gráfico de $i \times V$ utilizando apenas os **5** primeiros pontos medidos e determine R_0 através do ajuste de uma reta. No gráfico, inclua os resultados do ajuste, nomeie os eixos X e Y e coloque um título.

3.2.1 Temperatura do filamento

É possível determinar a temperatura do filamento de uma lâmpada de tungstênio através de uma relação empírica em função da resistência elétrica (R) descrita pelos pontos experimentais apresentados na figura 3, sendo $R_{300K} = R_0$ a resistência do filamento à temperatura ambiente, $T_0 \sim 300K$.

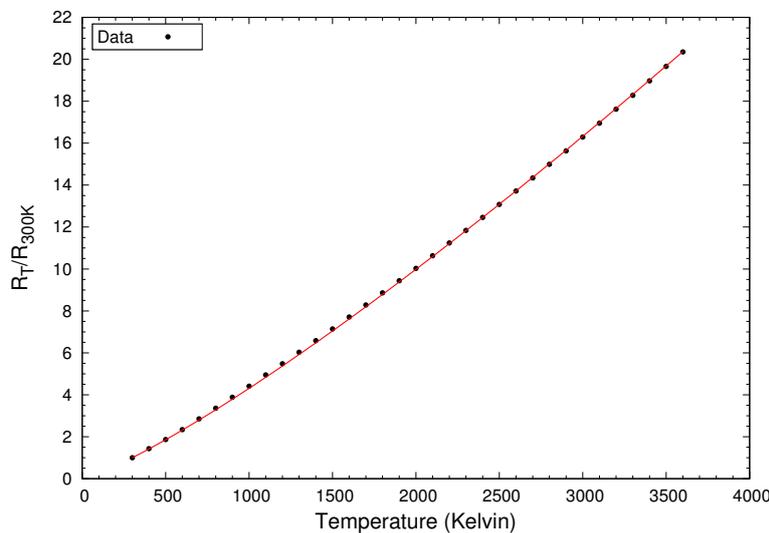


Figura 3: Resistência do tungstênio como função da temperatura

Através de um ajuste dos dados experimentais fornecido pela equação 7, é possível relacionar o valor da resistência do filamento com sua temperatura. Para tanto, é necessário conhecer o valor de R_0 .

$$\left(\frac{R}{R_0}\right) = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,21} \Rightarrow T = T_0 \times \left(\frac{R}{R_0}\right)^{\frac{1}{1,21}} \quad (7)$$

Uma vez determinado o valor da resistência da lâmpada à temperatura ambiente (R_0), podemos verificar experimentalmente a lei de Stefan-Boltzmann.

- Utilizando os dados de tensão V em função da corrente i , o valor obtido para R_0 , e a equação 7, calcule a temperatura do filamento para cada medida realizada. Registre os resultados na planilha, acompanhados de suas respectivas incertezas (*é necessário usar fórmulas de propagação para calcular as incertezas*).
- Utilizando os dados de tensão V em função da corrente i , determine o valor da potência dissipada no filamento usando a relação $P = Vi$.

3. Faça um gráfico $\text{Log}(P)$ em função de $\text{Log}(T)$. Ajuste uma reta do tipo $\text{Log}(P) = \beta + \alpha \times \text{Log}(T)$ e determine o coeficiente angular.