



Universidade de São Paulo

Instituto de Física
4323202 - Física Experimental B

CURVAS CARACTERÍSTICAS

(Guia para tomada e análise de dados)

Professor(a): _____ Turma: _____ Data: _____
 Nome: _____ Nº USP _____

CUIDADO: Antes de utilizar os equipamentos, identifique os componentes fornecidos e verifique os modos operacionais dos mesmos. Caso não esteja familiarizado com o equipamento, ou tenha alguma dúvida, peça informações ao professor.

1 Introdução

O experimento consiste no estudo do comportamento de dois elementos resistivos, um resistor e uma lâmpada, quando submetidos a uma diferença de potencial elétrico DC (*Direct Current*) através da análise de suas curvas características. A Lâmpada incandescente também será usada para testar a validade da Lei de Stefan-Boltzmann.

2 Comparação de valores medidos com o valor nominal

Na primeira parte da experiência utilizaremos diferentes resistores (1, 1K e 6,8M [Ω]) para comparar os valores de resistência medidos direta e indiretamente com o seu valor nominal.

Considere a potência fornecida abaixo e, utilizando a expressão $i_{m\acute{a}x} = \sqrt{P_{res}/R_x}$, calcule a corrente máxima de trabalho suportada pelos resistores fornecidos para não queimá-los.

Valor nominal [Ω]	Potência [W]	$i_{m\acute{a}x}$ [A]
1	2,5	
1K	5,0	
6,8 M	1/16	
47	2,5	

Tabela 1: Valores máximos de correntes suportada pelos resistores utilizados.

Monte o circuito ilustrado na figura 1 utilizando a resistência de 47Ω como um resistor de segurança para impedir altas correntes.

Identifique a fonte DC a ser utilizada (figura 2), ela possui dois potenciômetros de ajustes **Fino** e **Grosso** tanto para a corrente (botões 3 e 2) quanto para a tensão (botões 7 e 8). Certifique-se de zerar ambos os potenciômetros da tensão e maximizar ambos os potenciômetros da corrente antes de ligá-la.

Antes de conectar o voltímetro e o amperímetro ao circuito verifique as posições de suas chaves seletoras. Não se esqueça de desconectar o multímetro do circuito antes de alterar a posição da chave seletora.

Para cada resistor fornecido (1, 1k, 6,8M Ω) selecione um valor de tensão na fonte DC, tomando cuidado para que a corrente não ultrapasse $i_{máx}$, e anote os valores medidos de corrente e tensão pelos multímetros preenchendo a tabela 2.

Como teremos 2 resistores no circuito, considere como $i_{máx}$ sempre o menor valor calculado entre eles.

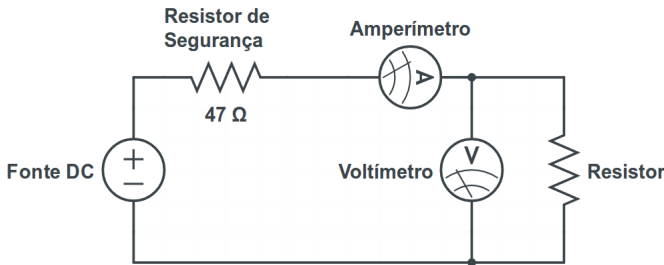


Figura 1: Circuito 01

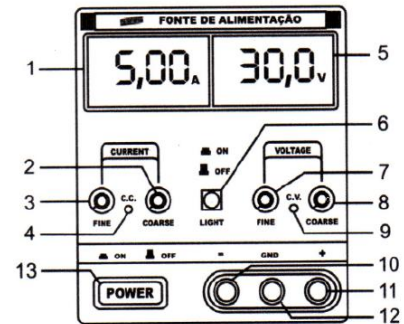


Figura 2: Fonte DC

ATENÇÃO: Não esqueça de selecionar a escala do amperímetro de μA para fazer a leitura da corrente ao utilizar o resistor de 6,8MΩ.

Valor nominal [Ω]	Circuito 01			
	Tensão [V]	σ_V	Corrente [A]	σ_A
1				
1K				
6,8 M				

Tabela 2: Valores de tensão e corrente utilizando o circuito 01.

Calcule o valor da resistência utilizando as medidas de tensão e corrente, ($V = R \times i$). Compare o valor nominal com o valor calculado através do desvio percentual ($Desvio \% = \frac{R_{calc} - R_{nominal}}{R_{nominal}}$)

Valor nominal [Ω]	Circuito 01		
	R_{calc} [Ω]	σ_R	Desvio %
1			
1K			
6,8 M			

Tabela 3: Cálculo da resistência através das medidas de tensão e corrente.

- Os resultados calculados concordam com os valores nominais? O amperímetro e o voltímetro utilizados no circuito 01 (figura 1) interferem nas medidas? Justifique?

Utilize o multímetro na função ohmímetro para medir a resistência dos elementos resistivos fornecidos preenchendo a tabela 4 e calculando o desvio percentual ($Desvio \% = \frac{R_{medido} - R_{nominal}}{R_{nominal}}$). (não se esqueça de desconectar os elementos resistivos para medi-los diretamente com o ohmímetro).

Valor nominal [Ω]	Circuito 01		
	R_{medido} [Ω]	σ_R	Desvio %
1			
1K			
6,8 M			

Tabela 4: Medida direta da resistência utilizando o ohmímetro.

- Os valores medidos com o ohmímetro concordam com os valores nominais?

3 Estudo da Curva Característica de elementos resistivos

Ao estudar um elemento resistivo devemos determinar e entender seu comportamento sob diferentes regimes de operação, esse mapeamento corresponde ao levantamento de sua curva característica.

Na prática, para levantar a curva característica de um elemento resistivo, deve-se obter medidas sucessivas de corrente e tensão aplicadas ao dispositivo estudado com o uso, por exemplo, de um multímetro ou osciloscópio e construir um gráfico de $V \times i$.

Elementos resistivos que seguem a lei de Ohm ($V = R \times i$), que relaciona a corrente elétrica (i) com a diferença de potencial aplicada (V), apresentam uma variação linear entre V e i . Desta forma, ao construir um gráfico de $V \times i$, caso o resistor seja ôhmico, o gráfico será linear, sendo possível obter o valor de sua resistência diretamente do coeficiente angular da reta ajustada aos dados experimentais.

3.1 Resistor

Monte o circuito 01 (figura 1), mantendo o resistor de segurança e utilize como elemento resistivo o resistor de $1K\Omega$. Varie a tensão na fonte DC, aplicada ao circuito, e obtenha 8 valores para a tensão (no voltímetro) em função da corrente (no amperímetro), anote na tabela 5. Atenção para o valor máximo de corrente que pode ser aplicado ao resistor sem danificá-lo, $i_{máx}$, calculado anteriormente na tabela 1.

Resistor [Ω]			
Tensão [V]	σ_V	Corrente []	σ_A

Tabela 5: Dados da Tensão em função da Corrente para o resistor.

3. Crie uma tabela com os valores medidos de corrente i , e tensão V medidos. Utilizando o programa Origin, faça um gráfico XY tipo espalhamento (scatter), grafique os pontos medidos e ajuste uma reta, tipo $V = \beta + \alpha \times i$. No gráfico, inclua os resultados do ajuste numa caixa de texto, nomeie os eixos Y e X e coloque um título. Imprima e anexe o gráfico ao guia de trabalho. Anote a seguir o valor dos parâmetros A e B do ajuste com suas respectivas incertezas e unidades:

$$\alpha = \text{_____} \pm \text{_____} [\text{_____}]$$

$$\beta = \text{_____} \pm \text{_____} [\text{_____}]$$

4. Indique o valor da resistência encontrada no ajuste e compare-o com o valor medido com o ohmímetro calculando o desvio percentual:

$$R_{ajuste} = \text{_____} \pm \text{_____} [\Omega]$$

$$\text{Desvio } \% = \frac{R_{ajuste} - R_{ohmimetro}}{R_{ohmimetro}} = \text{_____} \pm \text{_____}$$

5. O resistor pode ser considerado ôhmico? Qual a diferença entre a precisão na medida direta com o ohmímetro e através do ajuste gráfico?

3.2 Lâmpada incandescente

Uma lâmpada incandescente é um elemento resistivo cujo valor de sua resistência depende da temperatura. O filamento metálico de uma lâmpada incandescente fica num invólucro de vidro com gás inerte, a baixa pressão, cuja função é inibir a evaporação do filamento. Sua pressão deve ser baixa para reduzir as 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 ¹, enunciada na eq 1.

$$P_{rad} = \varepsilon A \sigma T^4 \quad (1)$$

sendo $\sigma = 5.670367(13) \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ denominado constante de Stefan-Boltzman, 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.

¹O nome "corpo negro" não tem nada de negro. É um termo técnico que define um bom irradiador ou absorvedor de radiação. Qualquer corpo emite radiação que depende de sua temperatura T. Se o corpo não for um absorvedor perfeito (negro) a emissividade $\varepsilon \neq 1$

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 Boltzman pode ser estudada fazendo

$$P_{elétrico} = P_{rad} = \varepsilon A \sigma T^4 \quad (2)$$

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

$$\log(P_{elétrico}) = \beta + \alpha \times \log(T) \quad (3)$$

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.

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 na figura 3. Sendo R_0 a resistência do filamento à temperatura ambiente, $T_0 \sim 300K$.

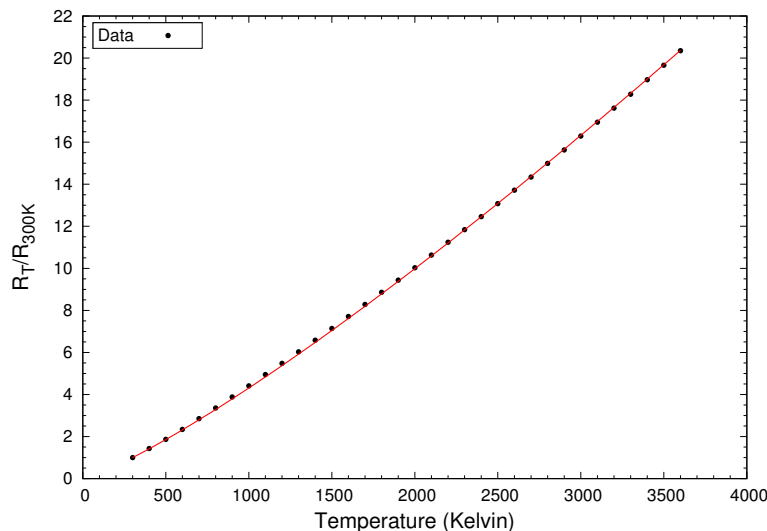


Figura 3: Resistência do tungstênio como função da temperatura

Através de um ajuste não linear dos dados experimentais, dada pela equação 4, relacionamos o valor da resistência com sua temperatura. Contudo, falta determinar R_0 .

$$\left(\frac{R}{R_0}\right) = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,21} \Rightarrow T = T_0 \times \left(\frac{R}{R_0}\right)^{\frac{1}{1,21}} \quad (4)$$

3.2.2 Determinação de R_0 e levantamento da curva característica

Para verificar a validade da lei de Stefan-Boltzmann é necessário determinar o valor da resistência da lâmpada à temperatura ambiente, R_0 , para então obter a temperatura do filamento, T , para cada valor de R/R_0 . Existem diferentes modos para determinar R_0 , no entanto, todos modos são aproximados, pois só é possível medir resistências elétricas fazendo passar uma corrente pela lâmpada, o que a faz aquecer tendo uma temperatura maior que a ambiente.

Vamos determinar o valor de R_0 de duas formas, a primeira será utilizando o ohmímetro (método direto). Selecione a função ohmímetro e meça o valor da resistência da lâmpada. Atenção para não demorar para efetuar a leitura da resistência, pois assim que a corrente começar a fluir a resistência irá aquecer.

$$R_0^{ohm} = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} \text{ [\Omega]}$$

A segunda forma consiste em utilizar o circuito ilustrado na figura 1 substituindo o resistor pela lâmpada. 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 resistivo linear, sendo possível determinar R_0 por extrapolação quando $i_L = 0$.

Para tal, vamos levantar a curva característica da lâmpada incandescente de forma análoga ao resistor. Obtenha 12 valores para a tensão (no voltímetro), em função da corrente (no amperímetro), anote na tabela 6. Escolha 4 valores entre $0 < V < 0.2$ (utilizados para extrapolar o valor de R_0) e os restantes entre $5 < V < 12$ (utilizados para verificar a lei de Stefan-Boltzmann).

Lâmpada			
Tensão [V]	σ_V	Corrente []	σ_A

Tabela 6: Dados da Tensão em função da Corrente para a lampada.

6. Faça um gráfico da curva característica da lâmpada, graficando tensão em função da corrente. Anexe o gráfico a este guia!
7. Determine R_0 pelo método da extrapolação. Utilizando o Origin construa um gráfico de resistência $R = V/i$ em função da corrente percorrida pela lâmpada usando os 4 primeiros pontos medidos, onde a lâmpada pode ser considerada aproximadamente como um elemento resistivo linear, e ajuste uma reta do tipo $R = \beta + \alpha \times i$, extrapolando o valor da resistência para $i = 0$. Anexe o gráfico!

$$\beta = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} \text{ [_____]}$$

$$\alpha = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} \text{ [_____]}$$

8. Indique o valor da resistência encontrada no ajuste e compare-o com o valor medido com o ohmímetro calculando o desvio percentual:

$$R_0^{ajuste} = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} \text{ [\Omega]}$$

$$Desvio \% = \frac{R_0^{ajuste} - R_0^{ohmimetro}}{R_0^{ohmimetro}} = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}}$$

9. Comente os valores obtidos para R_0 tanto pela medida direta quanto pelo método da extrapolação. O valores encontrados são compatíveis? Qual a diferença básica entre os métodos?

3.2.3 Verificação da Lei de Stefan-Boltzmann

10. Utilizando os dados de tensão em função da corrente da tabela 6, o valor ajustado acima para R_0 e a equação 4, calcule a temperatura do filamento para cada medida realizada e complete a tabela 7. Sugerimos fazer as contas numa planilha tipo Excel e anexar ao guia.

$V_L \pm \sigma_V$	$i_L \pm \sigma_I$	$R_L = V/i \pm \sigma_R$	$R/R_{300} \pm \sigma_{R/R_{300}}$	$T[K] \pm \sigma_T$	$Pot \pm \sigma_{Pot}$

Tabela 7: Dados da verificação da lei de Stefan-Boltzmann.

11. Converta as colunas P e T para $\text{Log}(P)$ e $\text{Log}(T)$. 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, α da equação (3). Considere o valor teórico e calcule o desvio percentual.

$$\alpha = \text{_____} \pm \text{_____} [\Omega]$$

$$\text{Desvio } \% = \frac{\alpha - 4}{4} = \text{_____} \pm \text{_____}$$

12. Comente o valor encontrado para o expoente da temperatura na lei de Stefan-Boltzmann. Seu valor deu próximo de 4? Há uma região do gráfico em que α se aproxima de 4? Isso ocorre quando a lâmpada está mais quente ou mais fria?