

Exp. 3

Ponte de Wheatstone

FSC2143 - Laboratório de Física III
FSC5123 - Física experimental II

lemo.ufsc.br
Versão de 13 de março de 2024

1 Objetivos

- Medir as resistências de resistores e de associações de resistores;
- Estabelecer experimentalmente a relação entre a resistência de fios metálicos com seu comprimento e com sua área de seção reta;
- Calcular a resistência por unidade de comprimento e a resistividade de um fio de Nicromo.

2 Teoria Básica

A Ponte de Wheatstone é um circuito muito utilizado em medidas elétricas, para obter o valor de uma resistência desconhecida, a partir de um conjunto de outras já conhecidas e tomadas como padrão (Figura 1). Geralmente duas resistências são fixas, uma é ajustável e a quarta é a incógnita, que se pretende determinar. Com este propósito, entre A e B se estabelece a alimentação da fonte de tensão ϵ , e entre C e D, é conectado um galvanômetro como um indicador de corrente.

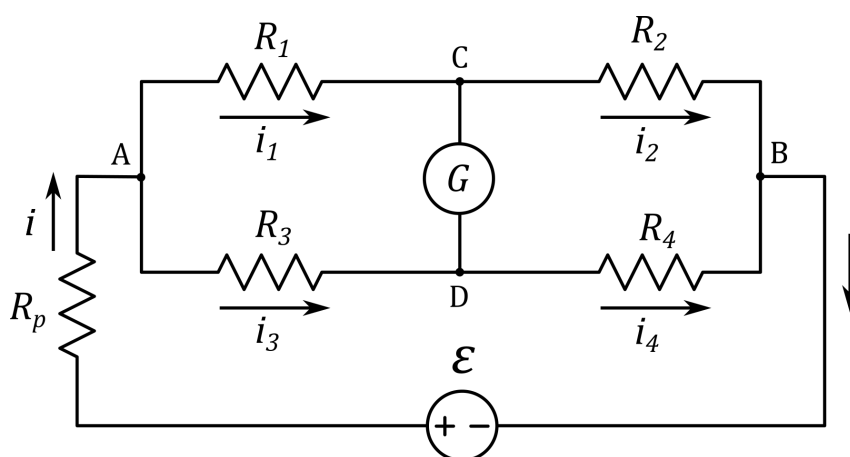


Figura 1 Circuito elétrico da Ponte de Wheatstone.

A resistência R_p é ligada em série com a fonte de tensão para limitar a corrente total da associação e não faz parte da ponte.

Quando houver uma diferença de potencial entre os pontos C e D, o galvanômetro acusará a passagem de corrente. Essa diferença de potencial poderá ser anulada através de um ajuste conveniente do valor da resistência ajustável: o galvanômetro acusa uma corrente nula e atinge-se o que chamamos de *equilíbrio da ponte*.

Na situação de equilíbrio da ponte, tem-se $V_C = V_D$ e, conseqüentemente, a diferença de potencial entre os pontos A e C deve ser a mesma que entre A e D. Então,

$$R_1 i_1 = R_3 i_3 \quad (1)$$

e, de maneira idêntica,

$$R_2 i_2 = R_4 i_4. \quad (2)$$

Dividindo a equação (1) pela equação (2), tem-se:

$$\frac{R_1 i_1}{R_2 i_2} = \frac{R_3 i_3}{R_4 i_4}. \quad (3)$$

Como não passa corrente pelo galvanômetro, $i_1 = i_2$ e $i_3 = i_4$, resultando

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}. \quad (4)$$

Uma maneira prática de memorizar a condição de equilíbrio de uma ponte de Wheatstone é observar que os produtos das resistências cruzadas são iguais, isto é, $R_1 \times R_4 = R_2 \times R_3$.

Se R_1 for uma resistência desconhecida, agora denominada R_X , e R_2 uma resistência padrão (*standard*) R_S , então basta variar R_3 e/ou R_4 até equilibrar a ponte e obter

$$R_X = R_S \frac{R_3}{R_4}. \quad (5)$$

Há duas formas comuns de pontes de Wheatstone: 1) de caixa de resistências e 2) de fio deslizante. A ponte de caixa de resistências é uma forma compacta arranjada de tal maneira que a razão R_3/R_4 possa ser variada em etapas decimais, por exemplo, de 0,001 até 1000 através da rotação de um dial. A resistência padrão R_S está incluída na caixa e pode ser variada, por exemplo, de 1 a 9999 Ω . Nestas condições, o alcance teórico de medidas de resistências está compreendido entre 0,001 e 9.999.000 Ω .

No nosso caso, a Ponte de Wheatstone utilizada é a de fio deslizante, constituída de um fio metálico estendido sobre uma escala uniformemente dividida entre os pontos A e B. O contato pode ser feito em qualquer ponto D por meio de um cursor deslizante, que se move ao longo do fio entre A e B, conforme o esquema da experiência, mostrado na Figura 2. A resistência padrão R_S é um conjunto de resistências em série cuja resistência equivalente varia de 1 a 1.111.110 Ω . As resistências R_3 e R_4 são substituídas por um fio metálico de seção transversal circular de raio r e comprimentos parcelados a e b .

A resistência de um resistor de formato cilíndrico uniforme de comprimento ℓ e área de seção transversal A pode ser calculada por:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (6)$$

onde ρ é a resistividade, que é uma propriedade específica do material de que é feito o resistor. Assim, as resistências R_3 e R_4 serão dadas por:

$$R_3 = \rho \frac{a}{\pi r^2} \quad \text{e} \quad R_4 = \rho \frac{b}{\pi r^2} \quad \Rightarrow \quad \frac{R_3}{R_4} = \frac{a}{b}. \quad (7)$$

Substituindo este resultado na equação (5), obtemos:

$$\boxed{R_X = R_S \frac{a}{b}}. \quad (8)$$

A equação acima indica que o valor da resistência desconhecida R_X é simplesmente o produto entre a resistência padrão e a razão dos comprimentos a e b que deixam a ponte de Wheatstone em equilíbrio.

Material	ρ ($10^{-8} \Omega\text{m}$)
Prata	1,6
Cobre	1,7
Aço	18,0
Nicromo (Kanthal)	143,0

Tabela 1 Resistividade de alguns materiais à temperatura de 20°C.

Para o cálculo da incerteza no valor de R_X , é necessário levar em consideração as incertezas nos valores de R_S e de a/b , a que chamaremos, respectivamente, de ΔR_S e $\Delta(a/b)$. Como R_X é o produto entre duas grandezas, sua incerteza relativa é igual à raiz da soma dos quadrados das incertezas relativas das duas grandezas¹:

$$\frac{\Delta R_X}{R_X} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_S}{R_S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(a/b)}{a/b}\right)^2}. \quad (9)$$

No caso de R_S , a incerteza relativa indicada nas caixas de décadas de resistências é de 0,5% ou de 1%. Isto significa que

$$\frac{\Delta R_S}{R_S} = 0,5\% = 0,005 \quad \text{ou} \quad \frac{\Delta R_S}{R_S} = 1\% = 0,01 \quad (10)$$

a depender do modelo da caixa.

Para estimar a incerteza $\Delta(a/b)$, deve-se observar a escala da régua e as condições de leitura.

¹ Este fato é facilmente demonstrado a partir da fórmula de propagação de incertezas envolvendo derivadas parciais.

3 Relação do material

- 01 fonte de tensão 0-30 V / 0-3 A;
- 01 caixa de décadas de resistências padrão (com precisão de 0,5% ou de 1%);
- 01 galvanômetro;
- 01 potenciômetro de fio deslizante de comprimento 500 mm;
- 01 tábua com 5 fios de nicromo em série;
- 01 tábua com 6 fios de nicromo em paralelo;
- 01 resistor de proteção;
- 01 resistor de 50, 100 ou 200 Ω (R_1);
- 01 resistor metálico de 33 Ω - 10 % - 10 W (R_2);
- 01 resistor metálico de 150 Ω - 10 % - 10 W (R_3);
- 01 régua milimetrada;
- 01 ponta de prova;
- cabos para conexões elétricas.

4 Esquema Experimental

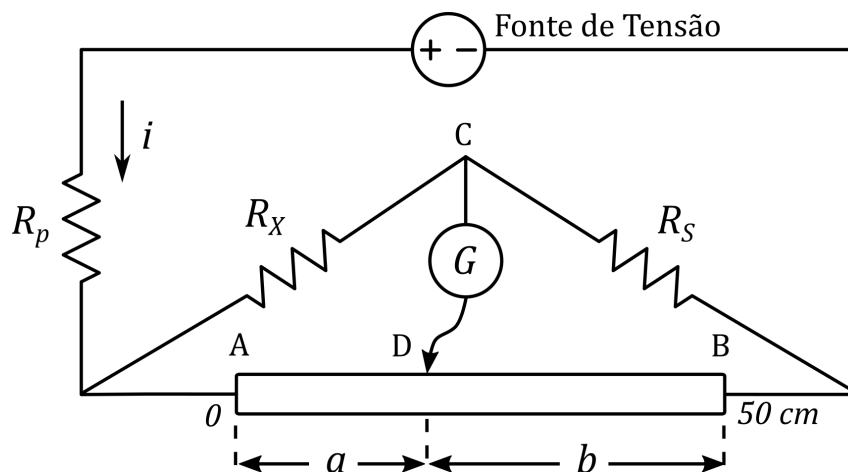


Figura 2 Esquema de montagem experimental da Ponte de Wheatstone.

5 Procedimento Experimental

PRIMEIRA PARTE - Resistências e associações

1. Monte o circuito conforme o esquema da Figura 2, colocando como resistência R_X o resistor número 1. Arbitre um valor inicial para a resistência R_S na mesma ordem de grandeza que o valor nominal de R_X . No decorrer das medidas, este valor poderá ser modificado. Chame o professor para verificar as conexões elétricas. **Observação:** *Antes de ligar a fonte de tensão, verifique se o botão regulador de tensão está em seu valor mínimo e o de corrente, em seu valor máximo.*
2. Ligue a fonte de tensão e ajuste-a a 1,0 V. Estabeleça contato entre o galvanômetro e a régua milimetrada encostando a ponta de prova no fio da régua; observe que o ponteiro do galvanômetro sai de sua posição de equilíbrio. Desloque a ponta de prova sobre o fio, sem perder o contato, de modo a restaurar o equilíbrio da ponte. O ponteiro deve retornar à posição zero.
3. A razão a/b encontram-se diretamente marcada na parte superior da régua, para cada posição da ponta de prova. Se esta razão for superior a 2,0 ou inferior a 0,5, o erro na medida tende a ser maior; recomenda-se então tentar outro valor para R_S e restaurar o equilíbrio.
4. Uma vez encontrado o ponto de equilíbrio da ponte, você pode aumentar um pouco a tensão da fonte (até cerca de 5 V) para fazer um ajuste mais fino da posição de equilíbrio.
5. Anote na Tabela I da folha de dados os valores de R_S e a/b . Concluída a medida, antes de substituir R_X por outro resistor, você deve **BAIXAR A TENSÃO DA FONTE AO MÍNIMO**.
6. Meça as resistências dos resistores 2 e 3, e também de suas associações em série e em paralelo.
7. Realize uma medida de resistência de um componente da sua escolha. *Sugestões: resistência de uma bobina, resistência interna de um amperímetro, etc.*

SEGUNDA PARTE - Resistência por unidade de comprimento

1. Meça as resistências dos fios estendidos de nicromo (liga de níquel e cromo) para os comprimentos L , $2L$, $3L$, $4L$ e $5L$, utilizando o mesmo procedimento anterior. Anote os resultados na tabela II.
2. Meça o comprimento L do primeiro fio com uma régua milimetrada. Os demais valores são múltiplos deste comprimento inicial.

TERCEIRA PARTE - Resistência em função da área de seção transversal

1. Meça as resistências dos fios de nicromo com áreas de seção reta de A , $2A$, $3A$, $4A$ e $5A$ seguindo o mesmo procedimento. Anote os resultados na tabela III.
2. O diâmetro do fio de área A é 0,226 mm. Calcule a área A . As demais áreas são múltiplas de A .

6 Questionário

1. (a) Para os dados da Tabela I, calcule as incertezas de todos os valores de R_X obtidos, conforme a equação (9).
(b) Avalie se os resultados concordam com os valores nominais das resistências medidas. Uma forma de fazê-lo é verificando se $R_{\text{nom}} \in [R_X - \Delta R_X, R_X + \Delta R_X]$, ou seja, se o valor nominal da resistência está dentro do intervalo de confiança obtido experimentalmente.

2. (a) Faça o gráfico de R_X em função do comprimento ℓ com os dados da Tabela II. Não esqueça de incluir as barras de incerteza para R_X , usando o mesmo método de cálculo de ΔR_X que na questão anterior (equação 9).
(b) Calcule o coeficiente angular por regressão linear ($y = ax + b$), obtendo assim o valor da resistência por unidade de comprimento do fio de nicromo e sua incerteza.

3. (a) Faça o gráfico de R_X em função do inverso da área, $1/A$, com os dados da tabela III, incluindo as barras de incerteza de R_X .
(b) Calcule o coeficiente angular ($a \pm \Delta a$) e, a partir dele, obtenha a resistividade deste material ($\rho \pm \Delta \rho$).
(c) O resultado do item b concorda com o valor tabelado da resistividade a 20 graus Celsius? Comente.

4. (a) Admitindo-se que a ponte esteja equilibrada com o cursor em $a = 1$ mm e com a menor resistência padrão disponível no equipamento, calcule o valor da menor resistência que poderá ser medida com o mesmo.
(b) Se a ponte estiver equilibrada com $a = 499$ mm e com a máxima resistência padrão disponível, calcule o valor da maior resistência que poderá ser medida.

Exp. 3 - Medidas de resistências com a Ponte de Wheatstone

GRUPO: _____

ALUNOS: _____

TURMA: _____

DATA: _____

➤ Primeira Parte - Resistências e associações

TABELA I

Resistores	$R_S (\Omega)$	a / b	$R_X (\Omega)$	$\Delta R_X (\Omega)$	$R_{nom} (\Omega)$
1					
2					
3					
2 e 3 (série)					
2 e 3 (paralelo)					

➤ Segunda Parte - Resistência por unidade de comprimento

TABELA II

Resistores	Comprimento (m)	$R_S (\Omega)$	a / b	$R_X (\Omega)$
1L				
2L				
3L				
4L				
5L				
6L				

➤ Terceira Parte - Resistividade

TABELA III

Resistores	Área (mm ²)	1 / Área (mm ⁻²)	$R_S (\Omega)$	a / b	$R_X (\Omega)$
1A					
2A					
3A					
4A					
5A					