

## F 329 – Exp. 2. Ponte de Wheatstone e Termistor (NTC) – coleta de dados.

### Conceitos

Medida de resistência por comparação e Componente eletrônico sensível à temperatura.

### Ponte de Wheatstone

A ponte de Wheatstone é um circuito muito útil, usado para medir a resistência de um resistor desconhecido por comparação, sendo capaz de determinar variações de forma bastante precisa e rápida. O resistor desconhecido  $R_x$ , ver Figura 1 abaixo, é posto numa rede onde os resistores  $R_1$  e  $R_2$  têm valores conhecidos e fixos e o resistor  $R_d$  tem valor variável que é ajustado como se verá à frente. Neste ajuste, a ponte usa um voltímetro, que está no ramo **c-d** do circuito, dentro do conceito de detecção de zero – de tensão – que é um critério menos sensível a problemas de calibração ou de precisão de padrões de referência. Na Figura 1, por exemplo, se os valores das resistências  $R_x$ ,  $R_d$ ,  $R_1$  e  $R_2$  forem tais que os potenciais em 'c' e em 'd' sejam iguais, nenhuma tensão será observada no voltímetro e diz-se que a ponte está em equilíbrio ou que foi ajustada.

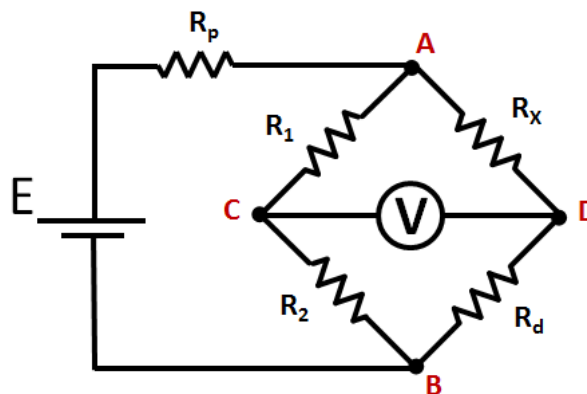


Figura 1. Montagem experimental de uma ponte de Wheatstone.

Nestas condições ( $V=0$ ), vale a equação  $R_1 \times R_d = R_2 \times R_x$ . Assim,  $R_x$  pode ser determinado já que no equilíbrio as 3 outras resistências são conhecidas. Como o experimento é baseado na relação acima, é importante apenas considerar os valores de resistência somente quando a tensão observada no voltímetro for zero. Em pelo menos 3 das 4 referências colocadas ao fim deste roteiro (Brophy, site efunda e Eisberg & Lerner), esta relação é obtida através de deduções diferentes. Escolham uma delas e certifique-se de tê-la compreendido.

Uma característica interessante da ponte de Wheatstone é que sua “sensibilidade” é máxima caso as 4 resistências seja iguais ou próximas (ver Blackburn, abaixo). Em outras palavras, quando as 4 resistências possuem valores iguais (ou próximos), se o valor de uma delas for variado um pouco (com relação ao seu valor), ocorre uma variação significativa de tensão no voltímetro (com relação a tensão aplicada pela fonte). Também é importante notar que a tensão que pode surgir entre os terminais ‘c’ e ‘d’ depende obviamente da tensão aplicada entre ‘a’ e ‘b’ (veja a Figura 1). Assim, se a tensão entre ‘a’ e ‘b’ for muito baixa, a tensão entre ‘c’ e ‘d’ pode ser próxima de 0V ainda que a ponte não esteja adequadamente balanceada. Ao contrário, uma tensão entre ‘a’ e ‘b’ maior, aumenta a sensibilidade. Faça o teste variando a tensão da fonte (mas antes determine a maior tensão que pode ser utilizada – opcionalmente use um amperímetro para medir a corrente em algum ponto do circuito).

**Observação:** O circuito proposto para a montagem experimental (Figura 1) inclui uma resistência cuja função é essencialmente proteger o voltímetro e a resistência de década. Verifique que  $R_p$  não tem outra função. Preste também atenção ao fato que nos primeiros momentos da procura do equilíbrio a tensão no voltímetro pode ser bem diferente de ~0V. Assim, utilize inicialmente o voltímetro na escala de “6 V” e apenas depois utilize a escala de “mV” (Note que as entradas são diferentes no painel do Multímetro). Além disso, sempre antes de fechar o circuito, coloque a tensão da fonte no mínimo e aumente posteriormente.

Note que outra forma de usar a ponte de Wheatstone é mantendo as resistências fixas ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ) e medindo um valor não nulo de tensão no Voltímetro. Essa segunda forma de trabalhar é interessante para detectar variações de resistência em  $R_x$  independentemente do seu valor. Não iremos utilizar essa forma de trabalhar neste experimento.

### Termistor

O termistor é um componente não linear que apresenta uma resistência altamente sensível à temperatura; o coeficiente de temperatura é elevado e negativo (NTC: *negative temperature coefficient*). Desta forma, sua resistência diminui quando a temperatura aumenta. Os termistores são utilizados em várias aplicações como: medição de temperatura, compensações de temperaturas, detectores de nível de líquidos, etc.

Os termistores são fabricados a partir de ligas de óxidos metálicos formando um material semicondutor. Uma interpretação da variação de resistividade com a temperatura seria que, com a elevação da temperatura, mais portadores de carga se tornariam disponíveis, e consequentemente, a resistência elétrica diminuiria. Considere a equação abaixo que relaciona a resistividade de um material com sua densidade de portadores,  $n$ :

$$\rho = \frac{m}{ne^2\tau}$$

Onde,  $m$  é a massa efetiva dos elétrons e  $\tau$  é o tempo médio entre colisões dos elétrons com centros espalhadores. Como a densidade de portadores pode depender exponencialmente com a temperatura:  $n \propto e^{(-\frac{E_g}{2kT})}$ , a resistência dependeria exponencialmente com a temperatura ( $E_g$  é o gap efetivo entre as bandas de condução e valência do material,  $k$  é a constante de Boltzmann e  $T$  é a temperatura (expressa em Kelvin)).

### Modelo Proposto pelos Fabricantes do Termistor

A relação entre a resistência  $R_{NTC}$  [ $\Omega$ ] e a temperatura  $T$  [K] pode ser aproximada pela relação fenomenológica:

$$R_{NTC} = A e^{B/T}$$

onde  $A$  e  $B$  são constantes características do componente NTC, sendo que o coeficiente  $B$  está relacionado com a energia térmica necessária para aumentar a condutividade do material. Note que se para uma temperatura padrão  $T_0$  ( $T_0 < T$ ) a resistência do termistor é  $R_0$ , é possível mostrar que o quociente  $R_0/R$  depende somente da constante  $B$  (Verifique!).

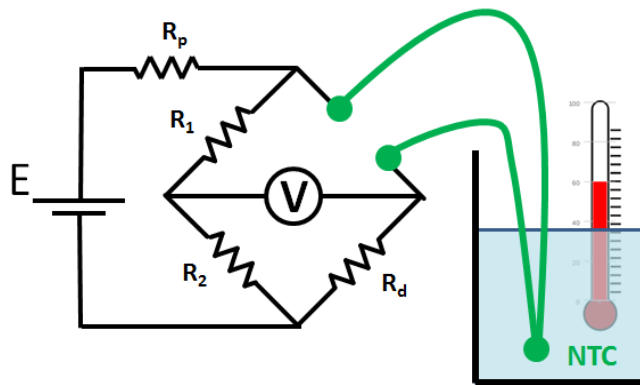
### Objetivos do experimento

#### Parte I:

Determine a resistência de um resistor de valor nominal  $R_x = 68 \Omega$  usando a ponte de Wheatstone. Em particular, determine as incertezas associadas e compare os valores de resistência nominal, medido com o ohmímetro e determinado pelo uso da ponte. Use  $R_p=100 \Omega$ ,  $R_1=R_2=100 \Omega$ .

#### Parte II:

Determine os coeficientes  $A$  e  $B$  do termistor e suas respectivas incertezas. Para isso, utilize a ponte de Wheatstone e considere o circuito da Figura 2. A água é útil para manter o termistor em uma dada temperatura (ele pode aquecer pela passagem de corrente se não estiver em contato com algum meio) e para permitir que a temperatura do meio no qual o termistor está seja medida facilmente com um termômetro.



**Figura 2.** Montagem para medição do Termistor.

**IMPORTANTE:** O aquecimento da água será feito com um aquecedor mergulhão que **não pode** ser ligado na tomada se estiver fora da água. **Cuidado para evitar acidentes!**

**NOTA:** A resistência de década permite uma variação controlada e pequena da resistência e também permite repetir um valor de resistência precisamente. Entretanto, o valor efetivo da resistência pode ser diferente do indicado. Assim, sempre meça os valores de resistência da década com o ohmímetro.

### Bibliografia

Brophy J. J. “*Eletrônica Básica*”, 3a Ed., Guanabara Dois, 1978. Pp 16-19.

Kaufman M. & Seidman A.H. (Editors), *Handbook for Electronics Engineering Technicians*; McGraw-Hill 1976. Páginas 1-16 até 1-19.

Eisberg, R.M. & Lerner, L. S. Física - Fundamentos e aplicações, vol 3, *McGraw-Hill do Brasil*, 1983. Páginas 200-202.

Site efunda :

([http://www.efunda.com/designstandards/sensors/methods/wheatstone\\_bridge.cfm](http://www.efunda.com/designstandards/sensors/methods/wheatstone_bridge.cfm))

Blackburn, J. A., *Modern Instrumentation for scientists and engineers*.