



PSI 3214 - LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO ELÉTRICA (2017)
EXPERIÊNCIA 3 - Ponte de Wheatstone

Guia de Experimentos

1.1 Introdução:

Nessa experiência projetaremos um circuito **ponte de Wheatstone** contendo um extensômetro, realizaremos medições neste circuito e faremos correlações das medidas elétricas com deformações mecânicas de uma barra de alumínio.

Na montagem da ponte serão utilizados **resistores fixos e uma caixa de resistências, além do extensômetro**. Um voltímetro de elevada resolução será utilizado para medir a tensão na saída do circuito. Além disso, deve-se tomar bastante cuidado com relação ao **limite de corrente de operação** da caixa de resistências, pois caso este valor seja excedido para um determinado valor de resistência ela poderá ser danificada, sendo que se trata de equipamento de custo elevado. Consultem a especificação da caixa de resistências fornecida no **Anexo Caixas de Resistências** ou no **Apêndice**, no final deste documento, e tirem as dúvidas com o professor.

A primeira parte da experiência consistirá em fazer o projeto de uma ponte de Wheatstone para medir a resistência de um extensômetro, elemento cuja resistência varia com a deformação mecânica, e que está colado sobre uma barra de alumínio, como indicado na Fig.1. Portanto, este extensômetro será o R_1 da ponte (vide esboço do circuito na Fig.3). Os valores nominais dos componentes R_2 , R_3 e R_4 deverão ser definidos de forma a permitir medir que a resistência do extensômetro seja medida com a máxima exatidão possível.

Na segunda parte da experiência o circuito ponte projetado deverá ser montado para ser medida a resistência do extensômetro.

A terceira parte da experiência será destinada à obtenção da deformação relativa " ε " do extensômetro (onde $\varepsilon = \Delta L/L$) através da ponte, ao serem colocados diferentes valores de massas sobre a barra que contém o sensor.

Na quarta parte da experiência a ponte será utilizada para construir uma balança eletrônica.

1.2 Especificação dos materiais/equipamentos por bancada:

- . 1 caixa de resistências de 1 a 100 k Ω ;
- . Strain gauge montado na barra de alumínio (120 Ω ou 1 k Ω);
- . resistores fixos de 120 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω de 1% e 1/8 W;
- . massas de prova;
- . 2 balanças eletrônicas (para todo o laboratório);
- . 1 fonte de tensão constante (E3631A);
- . 1 multímetro portátil (TX3);
- . 1 multímetro de bancada de 6 ½ dígitos (Agilent 34401A);
- . 1 suporte duplo com 3 bornes para conexão dos resistores fixos;
- . 8 cabos simples com conexões banana-banana.

2. Projeto do circuito ponte de Wheatstone:

Para medir a resistência do extensômetro precisaremos montar a ponte de Wheatstone como mostrado na Fig.3, onde **R₁** é o **extensômetro** e **R₃** é a **caixa de resistências** que deve ser variada para equilibrar a ponte. No entanto, antes de montá-la, é necessário fazer o projeto do circuito, identificando os valores apropriados de todos os resistores. Efetue os tópicos a seguir:

2.1 Em relação ao extensômetro (strain-gauge), Fig. 1:

- Meça sua resistência com o ohmímetro portátil;
- Identifique o limite máximo de corrente suportada pelo extensômetro fornecido. Informação sobre suas características consulte: [Anexo sobre Extensômetros ou Apêndice](#).

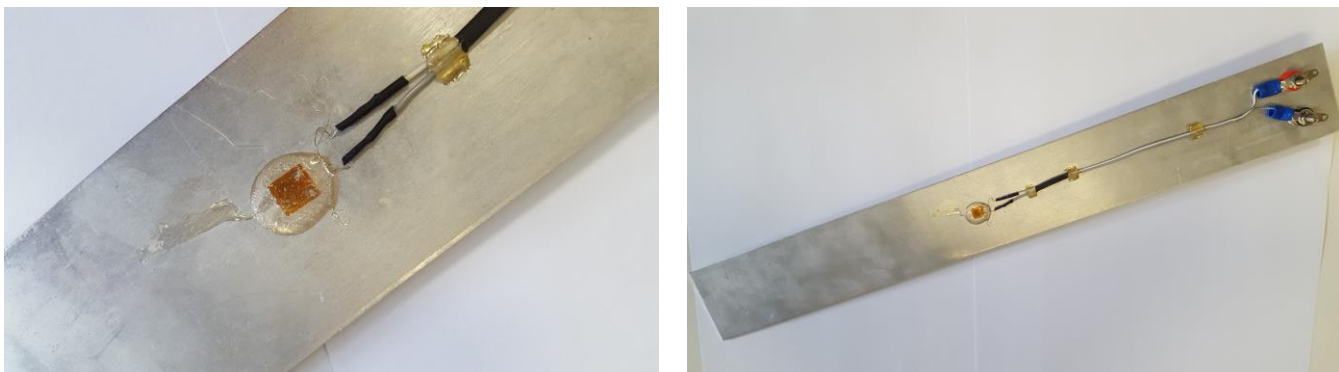


Figura 1: Strain-gauge montado sobre barra de alumínio.

2.2 Em relação à caixa de resistências:

- Identifique qual é o tipo de caixa de resistências que está na sua bancada.
- Verifique as escalas das suas décadas.
- Consulte as especificações da caixa de resistências para saber qual é a corrente de operação que não danificará o equipamento.



Figura 2: Painel de caixa de resistências utilizada no laboratório.

2.3 Considerando-se as condições de equilíbrio e de máxima sensibilidade da ponte de Wheatstone, determine:

Os valores de R_2 , R_3 e R_4 deste circuito, lembrando-se que a resistência R_3 é obtida através da caixa de resistências, e que seu valor deve ser tal que permita obter variações relativas de R_3 ($\Delta R_3/R_3$) menores que $\Delta R_1/R_1$. Os outros resistores (R_2 e R_4) serão componentes discretos com tolerância de 1%.

Obs: O cálculo de $\Delta R_{1\min}/R_1$ será efetuado no item a seguir. Além disso, para escolha do valor de R_3 , considere os valores disponíveis dos componentes resistivos para serem utilizados como R_4 .

2.4 Em relação ao circuito ponte:

- Calcule o valor máximo da tensão de alimentação do circuito (E) sem ultrapassar os limites de corrente sobre os resistores, e avalie se está adequada a tensão de alimentação sugerida para o experimento e indicada no seu roteiro experimental.
- Calcule qual será a menor variação relativa de R_1 ($\Delta R_{1\min}/R_1 = p_m$) que poderá ser detectada pela ponte, considerando que a resolução do detector de tensão (D) é de $\Delta V_{g\min} = 50 \mu V$ (você poderá conseguir valores de $\Delta V_{g\min}$ menores que este no seu experimento, tudo dependerá dos cuidados que terá com a sua montagem);
- Avalie se será possível equilibrar a ponte, verificando se $\Delta R_{3\min}/R_3 \leq p_m$. Note que $\Delta R_{3\min}$ é a menor variação que se pode obter da caixa de resistências.

3. Montagem do circuito ponte e determinação da resistência do extensômetro com exatidão:

3.1 Meça os valores experimentais de R_2 e R_4 . Utilize a caixa de resistências para R_3 .

Cuidado! Para proteger a caixa de resistências de um eventual curto, sempre deixe algum valor de resistência selecionado entre seus terminais.

Monte o circuito ponte conforme esquema da Fig. 3, usando os dados do projeto. Sugerimos que montem os dois componentes resistivos numa base fixa como indicado no apêndice. Utilize uma fonte de tensão constante, como indicado no item 1.2 (especificação). Escolha como detector de tensão (D) o **voltímetro do multímetro de bancada** com resolução de $6 \frac{1}{2}$ dígitos. Assumiremos neste caso que $\Delta V_{g_{\min}} = 50 \mu V$.

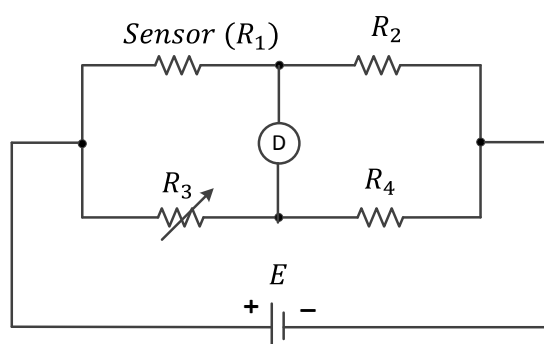


Figura 3: Esboço do circuito ponte para montagem.

Utilize as conexões **H (High)** e **L (Low)** da caixa de resistências. Se necessário, faça o aterramento da caixa, evitando-se o *loop* de terra. Para isso conecte todos os aterramentos em um mesmo nó (de terra). **Obs:** o *loop de terra* é a circulação indevida de corrente elétrica através do aterramento, causada por tensões elétricas que surgem ao longo do sistema de aterramento.

A barra contendo o extensômetro deverá ser devidamente posicionada sobre os apoios fornecidos, com o extensômetro posicionado no lado de baixo da barra, conforme indicação da Fig. 4:



Figura 4: Barra de alumínio (com extensômetro na parte de baixo da mesma) e a montagem com os apoios.

3.2 Equilibre a ponte e determine o valor de R_1 (extensômetro).

Obs: Notem que a ponte só estará na condição de equilíbrio se o medidor (V_g) apresentar tensões da ordem de unidades de microvolts.

Pergunta: *Por que foi necessário equilibrar a ponte, já que os valores das resistências foram escolhidos para que o circuito estivesse na condição de equilíbrio?*

Compare o valor de R_1 calculado por este método com o obtido através do multímetro portátil.

4. Relação entre deformação relativa do extensômetro e massa aplicada à barra:

Nesta parte da experiência a ponte de Wheatstone será utilizada para avaliar a deformação relativa do extensômetro ($\epsilon = \Delta L/L$) quando submetido à ação de algumas massas sobre a barra.

4.1 Procedimento experimental:

- Equilibre a ponte sem nenhuma carga sobre a barra. Anote o valor da resistência R_3 ($R_{3_sem_carga}$) e o valor de V_g nesta condição de equilíbrio.
- Escolha uma das peças disponíveis na sua bancada (ver Fig. 5) e meça (com a balança digital) o valor da sua massa (m).



Figura 5: Sugestões de massas de prova que poderão ser utilizadas no experimento.

- Posicione a peça escolhida na parte central da barra e anote a tensão no detetor ($V_{g_após_carga}$) sem alterar o valor da resistência R_3 .

- d. Em seguida, mantendo-se a carga sobre a barra, reequilibre a ponte. Nesta nova condição anote o novo valor da resistência R_3 ($R_{3_com_carga}$) para alcançar o equilíbrio.
- e. Retire a carga da barra. Note que é necessário equilibrar novamente a ponte sem nenhuma carga sobre ela.
- f. Repita os itens **b** ao **d** para as demais massas de prova, tomando-se o cuidado de não ultrapassar 600 g numa dada medida, para não deformar a barra permanentemente.

4.2 Análise e Cálculos:

- . Determine a deformação relativa da barra metálica para cada uma das massas testadas. Para isso, utilize o fator gauge do extensômetro: $FG = 2,1$ (valor fornecido pelo fabricante). Demonstre que $\Delta R_3/R_3$ é igual a $\Delta R_1/R_1$.
- . Levante o gráfico da deformação relativa " ε " em função da massa das peças colocadas na barra. Verifique se a relação é linear e determine GRAFICAMENTE a constante de proporcionalidade entre deformação relativa e massa.
Dica: use o programa Calc, do OpenOffice, instalado em sua máquina para obter a melhor função ajustada aos dados.
- . A partir do seu gráfico, indique qual será a deformação no comprimento da barra se for colocada uma massa de 400 g sobre a mesma.

5. Construção de uma Balança Eletrônica:

Com os dados obtidos na seção anterior, faça uma curva de calibração entre tensão de saída da ponte ($V_{g_{após_carga}}$) e massa aplicada. Teste sua balança eletrônica construída com o circuito ponte com uma (ou mais) carga(s) desconhecida(s). Compare o resultado obtido com a medição feita com a balança.

6. Item Opcional:

Como seria possível determinar o módulo de Young do alumínio a partir do gráfico ε em função da massa m ?

Faça uma estimativa do valor do módulo de Young e compare com o valor da literatura (vide o [Anexo sobre extensômetro](#)).

Obs: As grandezas devem ser representadas no Sistema Internacional de Unidades. Adote $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ para o cálculo do peso.

Apêndice

Especificações da Caixa de Resistência Yokogawa Tipo 2786

Cursor	Exatidão	Corrente de operação	Corrente máxima permitida
0,1 Ω	$\pm 2\%$	1,7 A	2,2 A
1 Ω	$\pm 0,5\%$	550 mA	710 mA
10 Ω	$\pm 0,1\%$	170 mA	220 mA
100 Ω	$\pm 0,05\%$	55 mA	71 mA
1 k Ω	$\pm 0,05\%$	17 mA	22 mA
10 k Ω	$\pm 0,1\%$	5,5 mA	7,1 mA (10k Ω a 30k Ω) 250 V (40k Ω a 100k Ω)
100 k Ω	$\pm 0,1\%$	1,7 mA (100 k Ω) 250 V (200k Ω a 1M Ω)	250 V

Especificações do Extensômetro utilizado nesta experiência

Resistência nominal	Potência	Fator Gauge (FG)
120 Ω	100 mW	2,1
1 k Ω	100 mW	2,1

Montagem dos resistores R2 e R4:

Para este experimento, não utilizaremos o protoboard. Para facilitar a montagem do circuito com os resistores fixos, sugerimos que utilizem a base fixa com os conectores rosqueáveis para a fixação dos componentes. O objetivo é deixar o circuito com o menor número de cabos e de contatos elétricos, a fim de melhorar a relação sinal ruído.

