

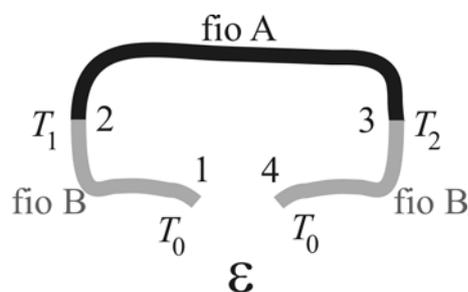
Calibração de um Termopar

INTRODUÇÃO

Termopares são termômetros bastante utilizados, na indústria e em laboratórios de pesquisa, para medições em uma ampla faixa de temperatura, podendo cobrir de ~ 70 a ~ 2000 K (aproximadamente de -200 a 1700 °C). Por se basear na medição de uma diferença de potencial, um termopar apresenta facilidade de leitura e de monitoramento de temperatura à distância e é de fácil adaptação em sistemas de controle e automação. Sabe-se que um campo elétrico pode produzir uma corrente elétrica em sólidos. Da mesma forma, variações de temperaturas também podem produzir correntes elétricas. Considere, por exemplo, um fio de metal cujas extremidades são mantidas em temperaturas diferentes, por meio de contato térmico com reservatórios de calor. Nessa situação, a densidade de elétrons livres é diferente nas duas extremidades, o que dá origem a um campo elétrico ao longo do fio; um outro campo elétrico é produzido pelo gradiente de temperatura no metal. Aparecerá nas extremidades do fio uma diferença de potencial elétrico. A conversão de diferença de temperatura em tensão elétrica e vice-versa é chamada de efeito termoelétrico. O funcionamento de um termopar baseia-se em um desses efeitos, conhecido como Efeito Seebeck.

Para analisar o Efeito Seebeck, considere dois fios de metais diferentes, ligados um ao outro, como representado na Figura 1. Cada junção – pontos 2 e 3 na figura – é colocada em contato térmico com um reservatório de calor; os reservatórios estão nas temperaturas T_1 e T_2 , respectivamente. Um voltímetro ideal é ligado nas extremidades livres – pontos 1 e 4 na figura – que estão à temperatura T_0 . Como o circuito formado pelos fios está aberto, a corrente elétrica, nele, é nula. Nessa situação, surge uma força eletromotriz nas extremidades livres, que depende do material dos fios e da variação de temperatura entre as junções. O Apêndice F apresenta uma descrição detalhada do Efeito Seebeck.

FIGURA 1 - Dois fios — A e B —, de materiais diferentes, ligados um ao outro para formar as junções 2 e 3. Quando as temperaturas dessas junções são diferentes, uma força eletromotriz \mathcal{E} é produzida nas extremidades 1 e 4, que estão a uma mesma temperatura T_0 .



O dispositivo esquematizado na Figura 1 é a base de um termopar utilizado como termômetro. Para isso, uma das junções é colocada em contato térmico com o objeto cuja temperatura T se deseja determinar, enquanto a outra junção é mantida em uma temperatura constante, chamada de temperatura de referência T_R , como representado na Figura 2. Usualmente, utiliza-se a temperatura do gelo em fusão como referência.

Para pequenas diferenças de temperatura entre as junções, a força eletromotriz ε é proporcional a essa diferença, ou seja, é dada por

$$\varepsilon = \alpha (T - T_R)$$

em que α , chamado de coeficiente Seebeck,¹ depende do material dos fios e da temperatura. Conhecido o coeficiente Seebeck, a temperatura do objeto pode ser determinada por meio da medição da força eletromotriz que é gerada.

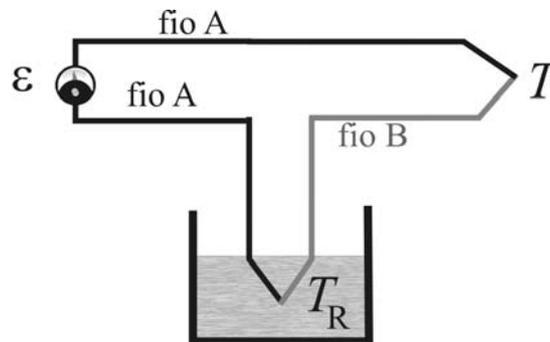


FIGURA 2 - Diagrama esquemático de um termopar, constituído de dois fios — A e B — de materiais diferentes. Uma das junções dos fios é mantida a uma temperatura T_R , e a outra deve estar em contato térmico com o objeto cuja temperatura se deseja determinar; um voltímetro mede a força eletromotriz ε então produzida.

O valor do coeficiente Seebeck é muito pequeno para os termopares típicos, ou seja, a força eletromotriz gerada é pequena mesmo para grandes variações de temperatura. Na Figura 3, representa-se esse coeficiente em função da temperatura para alguns termopares comerciais. Na Tabela 1, estão listados valores do coeficiente Seebeck a 20° C para alguns tipos de termopar.

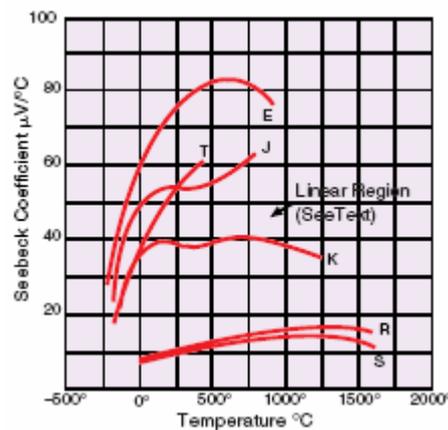


FIGURA 3 - Coeficiente de Seebeck em função da temperatura de alguns termopares comerciais. Os tipos são identificados por letras.

¹ Alguns autores chamam este coeficiente de potência termoelétrica.

TABELA 1 - Coeficiente de Seebeck a 20° C de alguns termopares comerciais

Tipo do termopar	Metais da junção	Coeficiente Seebeck a 20° C ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
E	Cromel/Constantan	62
J	Fe/Constantan	51
K	Cromel/Alumel	40
R	Pt/Pt + 13% Rd	7
S	Pt/Pt + 10% Rd	7
T	Cu/Constantan	40

PARTE EXPERIMENTAL

Objetivo

- Calibrar um termopar.

Sugestão de material utilizado

- Termopar, voltímetro com sensibilidade mínima de 10 μV , termômetro de referência, ebulidor, agitador de água, recipiente para água, recipiente refratário, nitrogênio líquido, fósforo, isqueiro ou vela.

Procedimentos

Neste experimento, serão vistos o princípio de funcionamento de termopares e o modo como eles são construídos e calibrados.

O processo de calibração de um termopar consiste em fazer medições da força eletromotriz gerada para diversos valores conhecidos de temperatura da junção de medida. Para determinação dessa temperatura, deve-se utilizar um termômetro de referência, já calibrado.

- Faça a montagem representada na Figura 2. Diferentemente da situação mostrada na figura 2, a junção de referência será mantida à temperatura ambiente, cujo valor deve ser previamente medido com o termômetro de referência.
- No recipiente refratário, aqueça cerca de 200 ml de água com o ebulidor, até que o termômetro de referência indique uma temperatura entre 90 °C e 100 °C.
- Mergulhe a junção de medida do termopar na água. Feito isso, meça, com o voltímetro, a diferença de potencial e, com o termômetro de referência, a temperatura da água. Mantenha a

ponta do termopar próxima ao bulbo do termômetro para garantir que ambos estejam à mesma temperatura.

- Em seguida, deve-se medir a diferença de potencial no termopar para diversos valores de temperatura da água. Para isso, aos poucos, adicione água fria à água quente contida no recipiente e repita as medidas feitas na etapa anterior.
- Faça o gráfico da diferença de potencial no termopar em função da temperatura da água. Com base nesse gráfico, verifique se o coeficiente Seebeck desse termopar é constante na faixa de temperatura observada. Assim sendo, faça uma regressão linear dos resultados das medições e determine o valor desse coeficiente. Escreva, então, a equação de calibração $\mathcal{E}(T)$ do termopar.
- Utilizando os resultados do ajuste dos dados a uma reta do tipo $y = \alpha x + \beta$ (ou seja, $\mathcal{E} = \alpha T - \alpha T_R$), pode-se encontrar o valor da temperatura de referência T_R . Comente o valor encontrado desta maneira.
- Agora que o termopar está calibrado, utilize-o para medir a temperatura de uma pessoa e da água de uma torneira ou de um bebedouro. Meça essas temperaturas, também, com o termômetro de referência e compare os valores obtidos em cada caso.
- Utilize o termopar para medir a temperatura do nitrogênio líquido e da chama de fogo. Sabe-se que a temperatura do nitrogênio líquido é -196°C . Avalie e comente os resultados obtidos nessas medições. Considere a premissa colocada para o uso da eq. (1) e as informações da figura 3.

QUESTÃO: O que você observa com relação ao valor de \mathcal{E} quando o termopar é colocado em uma chama de fogo?