

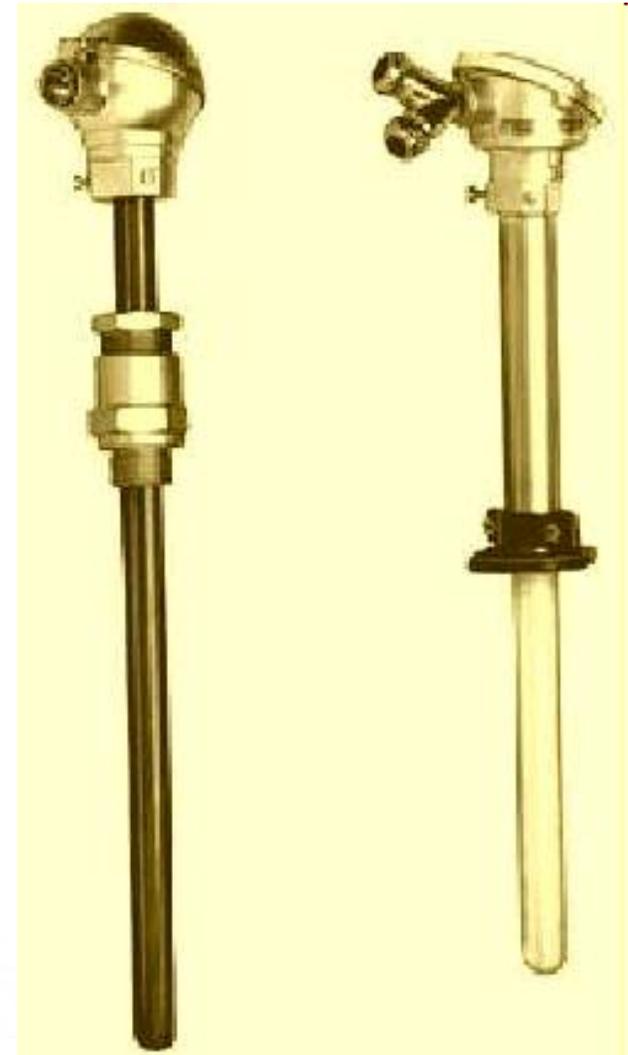


Disciplina: Instrumentação e Controle de Sistemas Mecânicos

Mensuração da Temperatura Parte 3

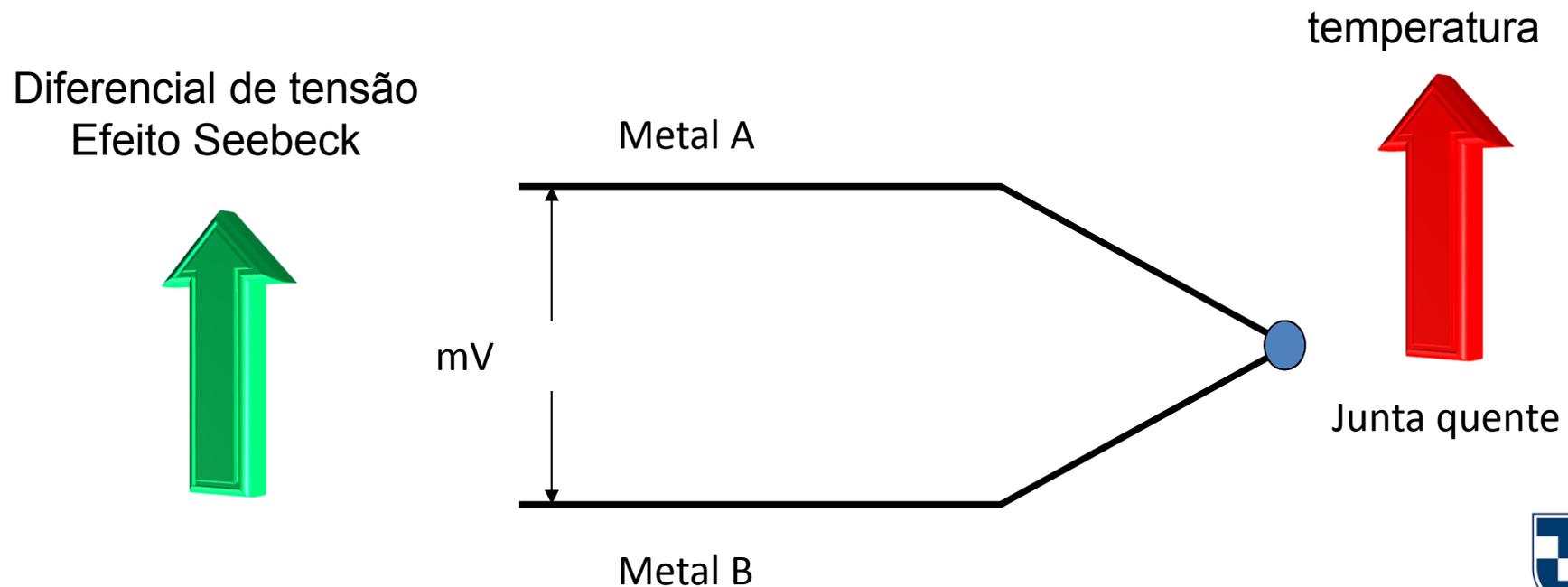
Prof. Fernando Porto

Termoelementos ou Termopares

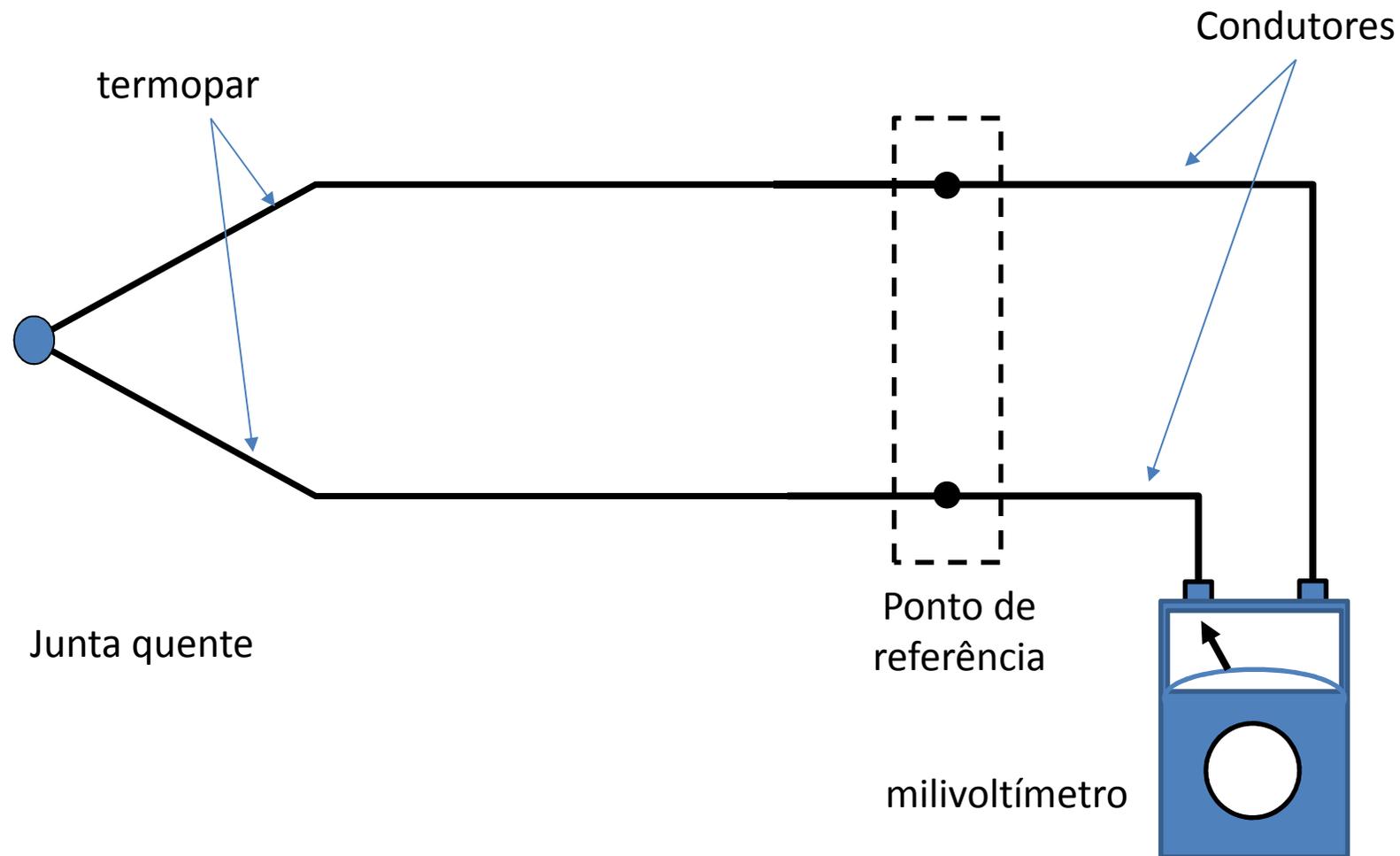


Termoelementos ou Termopares

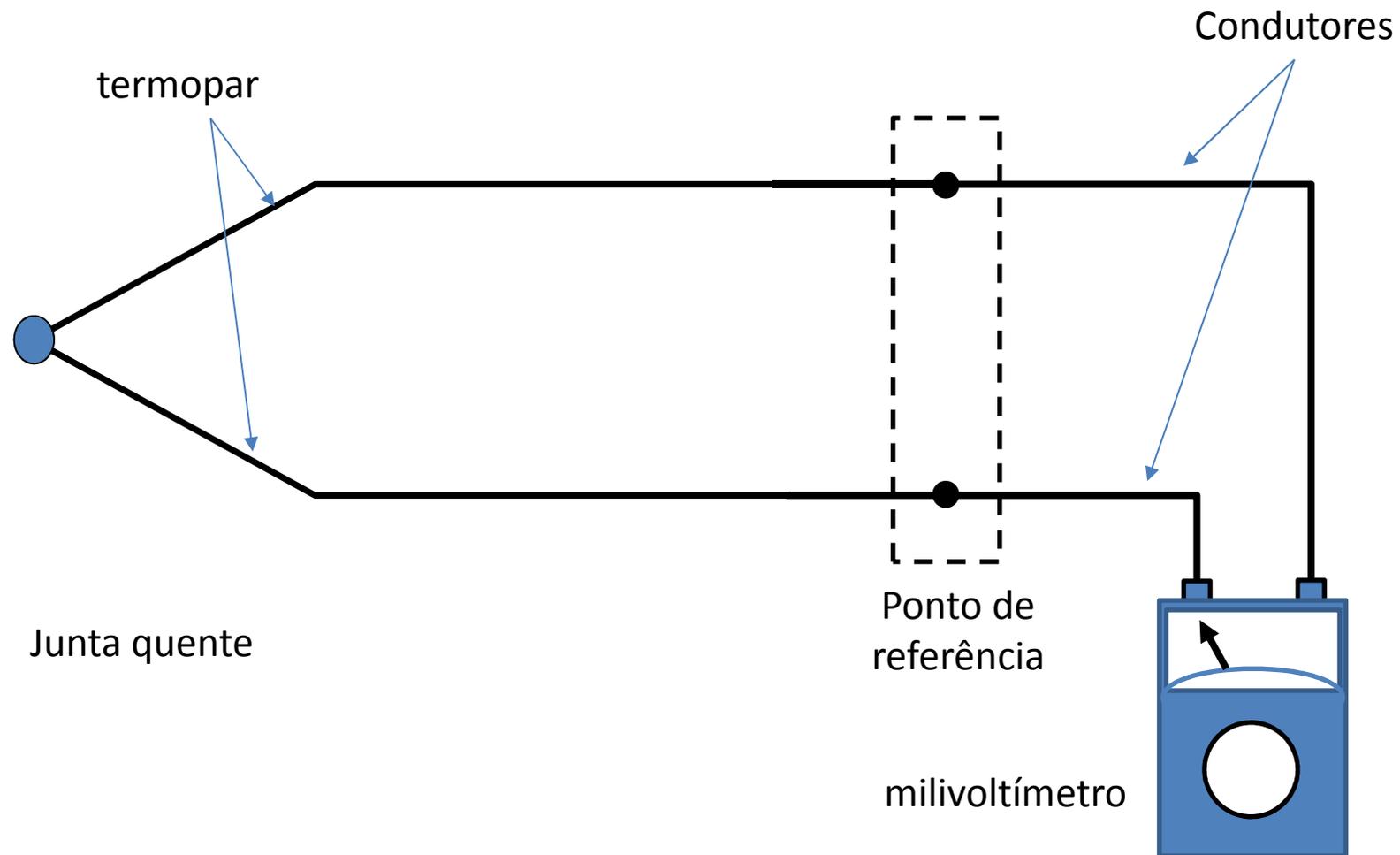
- Em metais diferentes unidos, algumas propriedades elétricas se manifestam em função da temperatura (FEM – força eletromotriz térmica).



- Interligam-se os fios em um dos extremos (ponto de medição), levam-se os outros dois extremos a uma temperatura constante (ponto de referência) e fecha-se o circuito através de aparelho medidor.



- A tensão medida é relacionada com a diferença de temperatura entre o ponto de medição e o de referência.



Compensação e Extensão

- Normalmente o aparelho medidor não está perto do sensor de calor (termopar). Esta distância introduz interferências no processo de medição, devido a ação da temperatura ambiente e de campos eletromagnéticos.
- Nestes casos é necessário que o instrumento seja ligado ao termopar por meio de fios (núcleo sólido) ou cabos (feixe de condutores) que sejam capazes de compensar estas perdas.

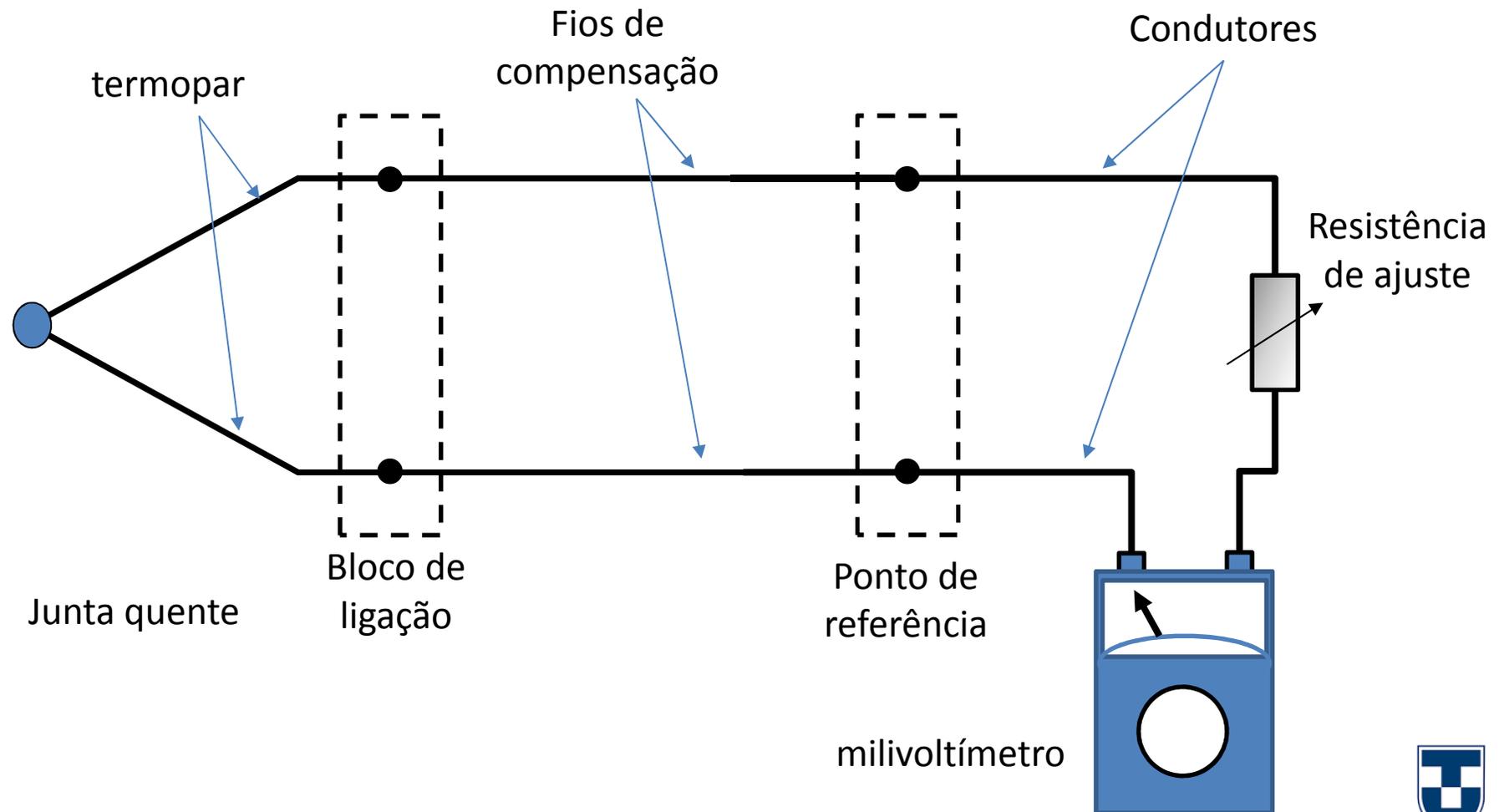
Fios ou cabos de Extensão:

- Fios ou cabos fabricados com as mesmas ligas dos termopares a que se destinam. Por exemplo, tipo TX, JX, EX e KX.

Fios ou cabos de Compensação:

- Fios ou cabos fabricados com ligas diferentes das dos termopares a que se destinam, porém que forneçam, na faixa de utilização recomendada, uma curva da força eletromotriz em função da temperatura idêntica a dos termopares. Exemplo: tipo SX e BX.

- Fios e cabos de extensão e compensação fabricados em ligas diferentes das dos termopares são recomendados para a faixa de temperatura ambiente até um máximo de 200°C.



Outros tipos de Compensação:

- A influência de alterações de temperatura no ponto de referência também pode ser, na prática, eliminada através do uso de um circuito de compensação (resistências montadas em ponte) em conjunto com uma resistência dependente de temperatura.
- Outro modo é manter a temperatura constante no ponto de referência (com uma mistura de água e gelo, por exemplo). Este último modo é mais empregado em laboratórios.

Efeitos Termoelétricos

- Quando dois metais ou semicondutores dissimilares são conectados e seus extremos são mantidos a temperaturas diferentes, quatro fenômenos ocorrem simultaneamente: efeito Seebeck, efeito Peltier, efeito Thomson e efeito Volta.
- Destes acima listados, são muito importantes, para a prática da termometria por meio de termopares, o efeito Seebeck e o efeito Peltier.

- **Efeito Seebeck:** é a produção de uma diferença de potencial (tensão elétrica) entre duas junções de condutores (ou semicondutores) de materiais diferentes quando estas se encontram em diferentes temperaturas. Observado em 1821 por Thomas Johann Seebeck.
- **Efeito Peltier:** Jean Charles Athanase Peltier, em 1834, verificou que, se uma corrente elétrica flui na junção entre dois metais diferentes, calor é gerado ou é absorvido nesse local numa quantidade proporcional à intensidade de corrente. O calor é gerado ou absorvido dependendo do sentido da corrente. Importante ressaltar que a variação de temperatura na junção também implicam na geração de uma corrente elétrica, de sentido dependente da variação ser de aquecimento ou de resfriamento.

Termoelementos ou Termopares

- Existem diversas combinações de metais condutores operando como termopares.
- Devem possuir razoável linearidade entre temperatura e FEM e as variações de tensão devem ser detectáveis pelos equipamentos de medição disponíveis.
- Tipos **básicos** (materiais mais baratos), **nobres** (platina e um outro metal) e **especiais** (aplicação restrita).

Termopares Tipo Básico

- **Tipo T (Cobre / Cu55%Ni45% Constantan)** Indicado para -270 a 400°C. Pode ser usado em atmosfera inerte, oxidantes e redutoras. FEM -6,258 a 20,872 mV. Acima de 300°C a oxidação do cobre fica intensa e pode provocar desvios.
- **Tipo J (Fe99,5% / Cu55%Ni45% Constantan)** **Obsoleto**, usado em atmosferas neutras, oxidantes ou redutoras, sem umidade. Não deve ser usado em temperaturas negativas (Fe quebradiço) ou acima de 500°C (Fe oxida). Atuação: -210 a 760°C. FEM -8,096 a 42,919 mV.
- **Tipo E (Ni90%Cr10% Cromel / Cu55%Ni45% Constantan)** Atmosferas oxidantes, inertes ou vácuo. FEM elevada (-9,835 a 76,373 mV) facilita detectar pequenas variações de temperatura. Atuação: -270 a 1000°C
- **Tipo K (Ni90%Cr10% Cromel / Ni95%Mn2%Si1%Al12% Alumel)** Atmosferas inertes e oxidantes. Muito usado acima de 600°C e abaixo de 0°C. **Uso em altas temperaturas por longos períodos leva a desvios** devido a difusão do cromo. **Popular na indústria** (custo e variedade) – atuação: -200 a 1200°C, FEM -6,458 a 48,838 mV.
- **Tipo N (Ni84,4%Cr14,2%Si1,4% Nicrosil / Ni95,45%Si4,40%Mg0,15% Nisil)** **Substitui tipo K** por ser mais resistente a oxidação, **e os de platina**, em altas temperaturas, devido menor custo. Atuação: -200 a 1200oC, FEM -4,345 a 47,513 mV.



Termopares Tipo Nobre

- **Tipo S (Platina / Pt90%Rh10%)** Indicado para 0 a 1400°C. Pode ser usado em atmosfera inerte e oxidantes, por longo tempo. FEM -0,236 a 18,693 mV. **Não devem ser usados em tubos de proteção metálicos, e sim de alumina de alta pureza (tipo 799).** Acima de 1400°C ocorre o crescimento de grãos que tornam o fio quebradiço. Abaixo de zero a resposta se torna instável. Limites de utilização: -50 a 1768°C.
- **Tipo R (Pt87%Rh13% / Pt100%)** Possui as mesmas características do tipo S, sendo em alguns casos preferível por ter um potência termoelétrica (FEM) cerca de 11% maior.
- **Tipo B (Pt70,4%Rh29,6% / Pt93,9%Rh6,1%)** Normalmente empregado em temperaturas superiores a 1400 até 1820°C. Pode ser usado em atmosfera inerte e oxidantes, por longo tempo, e em vácuo, em curtos períodos. FEM 0 a 13,820 mV. Para temperaturas abaixo de 50°C a FEM gerada é muito pequena e difícil de ser detectada com precisão.

Termopares Tipo Especial

- **Tungstênio - Rhênio** Indicado para uso contínuo até 2300°C. Pode ser usado por curtos períodos de tempo até 2750°C.
- **Irídio40%Ródio60% - Irídio** Indicado para até 2000oC por períodos limitados.
- **Platina40%Ródio60% - Platina20%Ródio80%** Empregado em temperaturas de até 1600°C por períodos prolongados. Pode ser usado substituindo os do tipo B. Por curto período de tempo podem trabalhar até 1850°C.
- **OuroFerro - Ni90%Cr10% Cromel** Desenvolvidos para temperaturas criogênicas.

Cores de Identificação

Type	Temperature range °C (continuous)	Temperature range °C (short term)	Tolerance class one (°C)	Tolerance class two (°C)	IEC Color code	BS Color code	ANSI Color code
K	0 to +1100	-180 to +1300	±1.5 between -40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 1000 °C	±2.5 between -40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 1200 °C			
J	0 to +750	-180 to +800	±1.5 between -40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 750 °C	±2.5 between -40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 750 °C			
N	0 to +1100	-270 to +1300	±1.5 between -40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 1000 °C	±2.5 between -40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 1200 °C			
R	0 to +1600	-50 to +1700	±1.0 between 0 °C and 1100 °C ±[1 + 0.003×(T - 1100)] between 1100 °C and 1600 °C	±1.5 between 0 °C and 600 °C ±0.0025×T between 600 °C and 1600 °C			Not defined.
S	0 to 1600	-50 to +1750	±1.0 between 0 °C and 1100 °C ±[1 + 0.003×(T - 1100)] between 1100 °C and 1600 °C	±1.5 between 0 °C and 600 °C ±0.0025×T between 600 °C and 1600 °C			Not defined.
B	+200 to +1700	0 to +1820	Not Available	±0.0025×T between 600 °C and 1700 °C	No standard use copper wire	No standard use copper wire	Not defined.
T	-185 to +300	-250 to +400	±0.5 between -40 °C and 125 °C ±0.004×T between 125 °C and 350 °C	±1.0 between -40 °C and 133 °C ±0.0075×T between 133 °C and 350 °C			
E	0 to +800	-40 to +900	±1.5 between -40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 800 °C	±2.5 between -40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 900 °C			
Chromel/AuFe	-272 to +300	n/a	Reproducibility 0.2% of the voltage; each sensor needs individual calibration.				

Type	Temperature range °C (continuous)	Temperature range °C (short term)	IEC Color code	BS Color code	ANSI Color code
K	0 to +1100	-180 to +1300			
J	0 to +750	-180 to +800			
N	0 to +1100	-270 to +1300			
R	0 to +1600	-50 to +1700			Not defined.
S	0 to 1600	-50 to +1750			Not defined.
B	+200 to +1700	0 to +1820	No standard use copper wire	No standard use copper wire	Not defined.
T	-185 to +300	-250 to +400			
E	0 to +800	-40 to +900			
Chromel/AuFe	-272 to +300	n/a			

Correlação FEM/temperatura

$$T = a_0 + a_1.V + a_2.V^2 + a_3.V^3 + \dots + a_n.V^n$$

Tipo	E	J	K	T
Faixa de emprego [°C]	de -100 a 1000	de 0 a 760	de 0 a 1370	de -160 a 400
a0	0,104967248	-0,048868252	0,226584602	0,10086091
a1	17189,45282	19873,14503	24152,109	25727,94369
a2	-282639,085	-218614,5353	67233,4248	-767345,8295
a3	12695339,5	11569199,78	2210340,682	78025595,81
a4	-448703084,6	-264917531,4	-860963914,9	-9247486589
a5	1,10866x10+10	2018441314	4,83506x10+10	6,97688x10+11
a6	-1,76807x10+11		-1,18452x10+12	-2,66192x10+13
a7	1,71842x10+12		1,38690x10+13	3,94078x10+14
a8	-9,19278x10+12		-6,33708x10+13	
a9	2,06132x10+13			

Correlação FEM/temperatura

- Exemplo: suponha que um termopar do tipo J apresenta uma saída de 10,0mV.
- Então pela equação e pelos coeficientes fornecidos no slide anterior, a temperatura indicada por este termopar é de aproximadamente 185,9°C.

Exercício

- Um termopar do tipo K apresenta uma saída de 9,0 mV.
- Determine a temperatura indicada pelo termopar.

Exercício

- Um termopar do tipo J é utilizado para mensurar a temperatura de um processo, o qual se supõem estar a 32°C .
- Qual seria a tensão de saída a ser registrada caso o processo esteja na temperatura esperada?

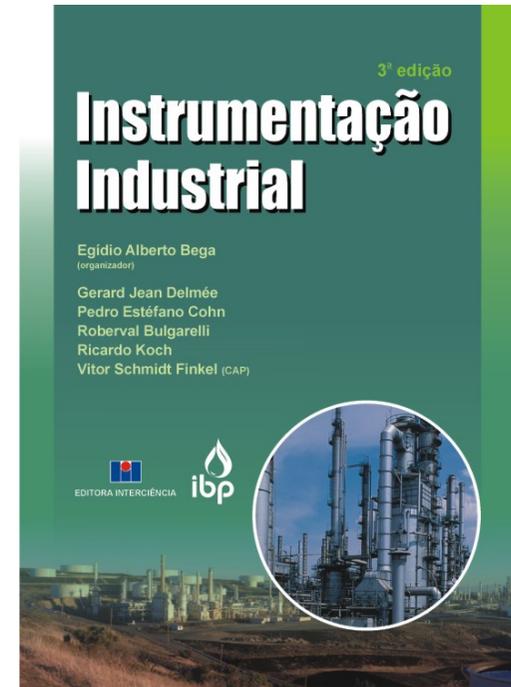
RTDs vs Termopares

- Os dois tipos principais de medição de temperaturas na indústria são os RTDs e os termopares. A escolha entre eles é geralmente determinada por quatro fatores.
 1. Temperatura. Se as temperaturas do processo estão entre -200 e 500°C , um RTD é a opção preferida.
 2. Tempo de resposta. Se o processo requer uma resposta muito rápida à mudanças de temperatura (na ordem de frações de segundo), um termopar é a melhor escolha.

RTDs vs Termopares

3. Tamanho. Uma bainha RTD padrão é 3,18 a 6,35 mm de diâmetro; diâmetros de bainha para termopares podem ser inferiores a 1,6 mm.
4. Precisão e estabilidade. Se uma tolerância de 2°C é aceitável e um alto nível de repetibilidade não é necessário, um termopar pode servir. RTDs são capazes de maior precisão e podem manter a estabilidade por muitos anos, enquanto termopares podem derivar dentro das primeiras horas de uso.

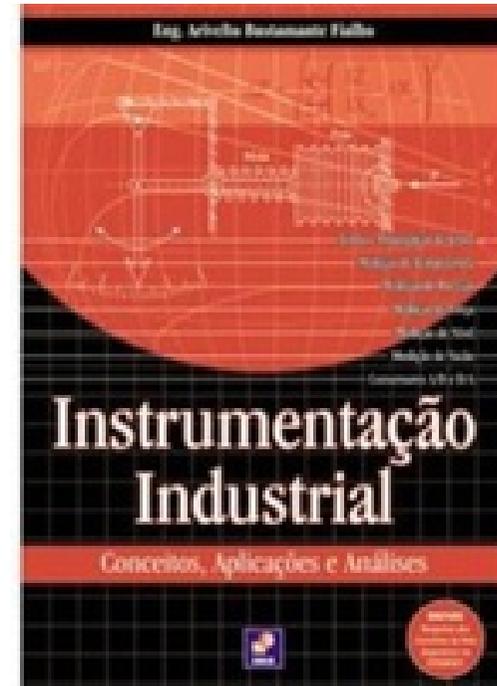
Bibliografia



Egídio Alberto Bega, Gerard Jean Delmee, Pedro Estéfano Cohn, Roberval Bulgarelli, Ricardo Koch, Vitor Schmidt Finkel

Instrumentação Industrial, Editora Interciência, 3ª Edição, 2011.

Bibliografia



Arivelto Bustamante Fialho

Instrumentação Industrial, Editora Érica, 7ª
Edição, 2010.