

Aula 4 – Instrumentos de Temperatura

Prof. Geronimo

- Os medidores de temperatura mais usados na indústria são os termômetros baseados em bimetal e os sensores do tipo termopar e termorresistência, que servem para a transmissão do sinal de temperatura através dos sistemas de controle de processos.
- Devido aos avanços tecnológicos dos dias atuais, houve o surgimento de ampla gama de sensores de temperatura.
- **Classificação:**
 - Efeitos Mecânicos: Expansão de líquidos em bulbos de vidro; Bimetálicos; Manométricos.
 - Termorresistência.
 - Termopares.
 - Infravermelho (Radiação).

- **Termômetros de expansão de líquidos em bulbos de vidro.**

- Termômetro de mercúrio. Solidifica a $- 37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Termômetro de álcool. Leva vantagem por ter um coeficiente de expansão maior. Mas tem um limite de temperatura mais baixo (o álcool ferve a altas temperaturas).

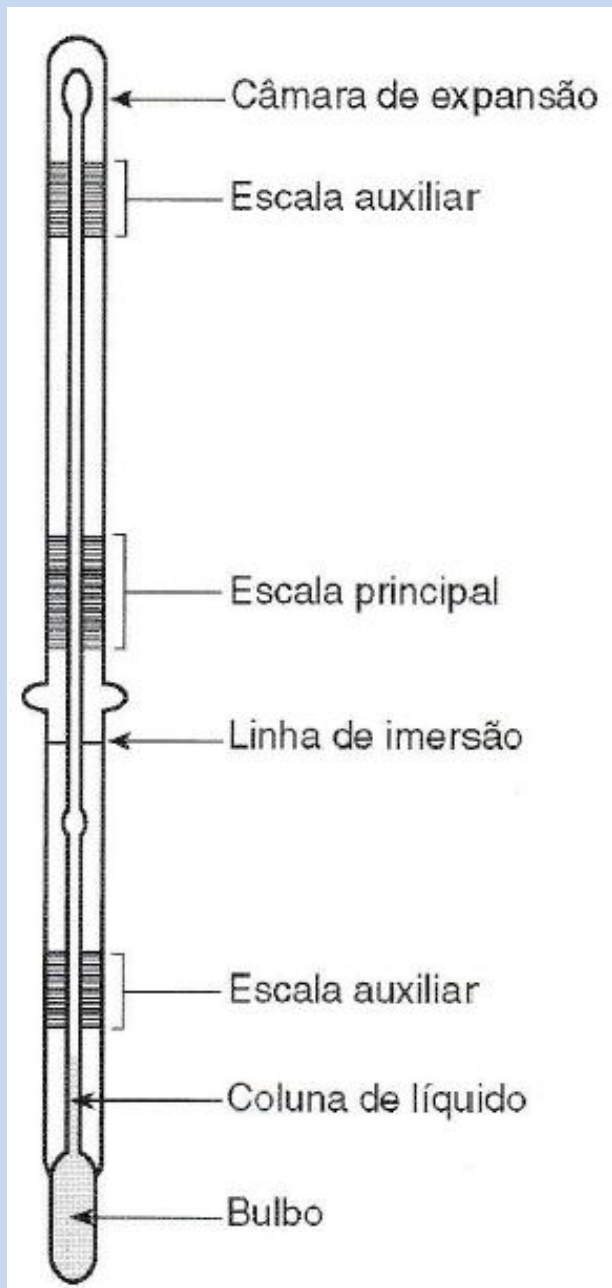


Princípio de funcionamento:

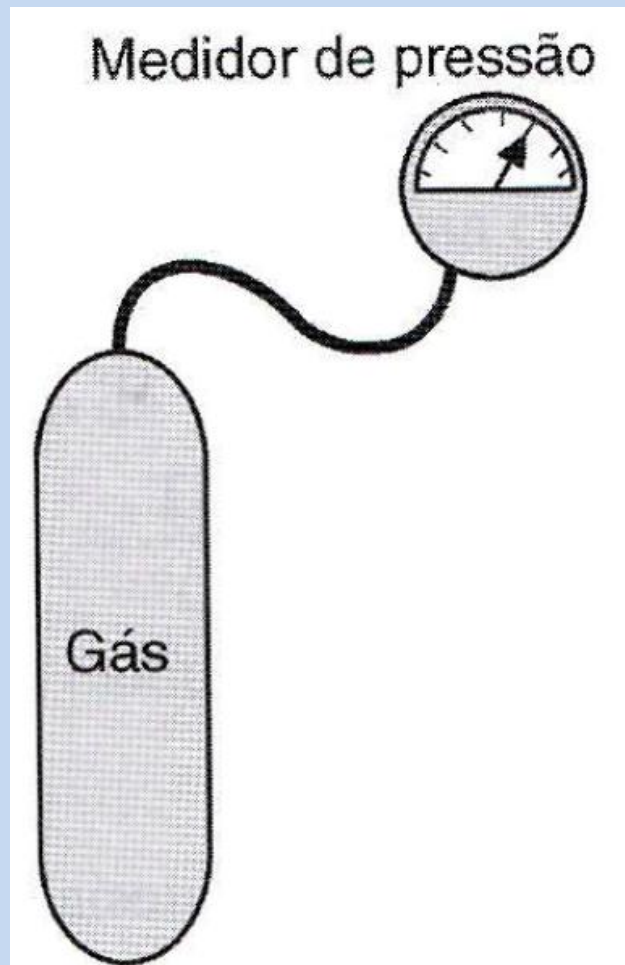
Baseia-se no coeficiente de dilatação térmica. Com o aumento da temperatura, o líquido que está dentro de um bulbo começa a se expandir e é obrigado a passar por um capilar no interior de um tubo de vidro graduado.



Obs: A tendência é que esse tipo de termômetro desapareça do mercado (mercúrio) por questões de segurança, contaminação. São imprecisos da ordem de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Termômetro de imersão parcial.



Sensor de temperatura que utiliza o princípio de expansão dos gases.

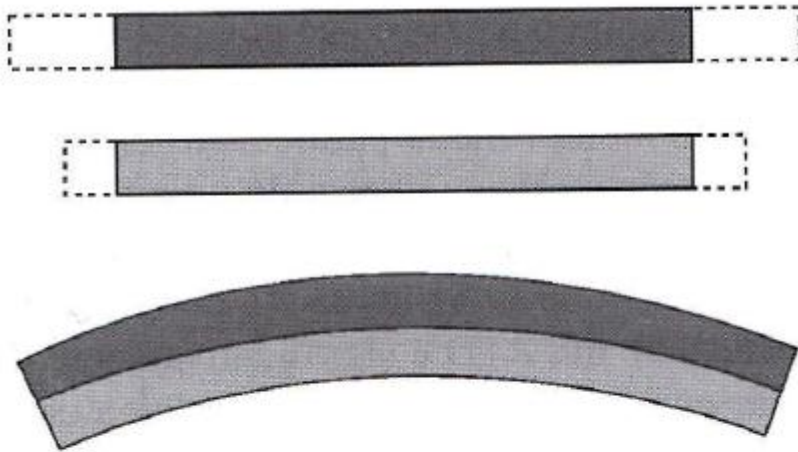


Termômetro à expansão de líquido (Wika)

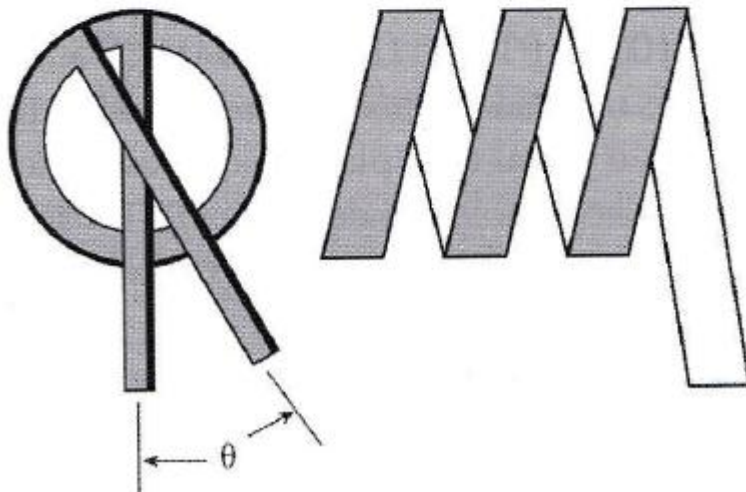


Termômetro à expansão de gás (Wika)

- **Sensores e medidores baseados no princípio bimetalícos**
- São os sensores usados nos termômetros bimetalícos para medir temperaturas entre - 40 e 500 °C. Quando dois metais com coeficientes de dilatação diferentes dão soldados um ao outro e fixados em uma das extremidades, um aumento de temperatura fará com que um metal se dilate mais do que o outro provocando um deslocamento na extremidade livre.
- Este deslocamento é aproveitado para a medição de temperatura. De forma a amplificar o deslocamento produzido pela variação de temperatura a ser medida, foram desenvolvidos elementos bimetalícos espirais e helicoidais, como no caso dos manômetros.



Princípio de funcionamento de um bimetel.

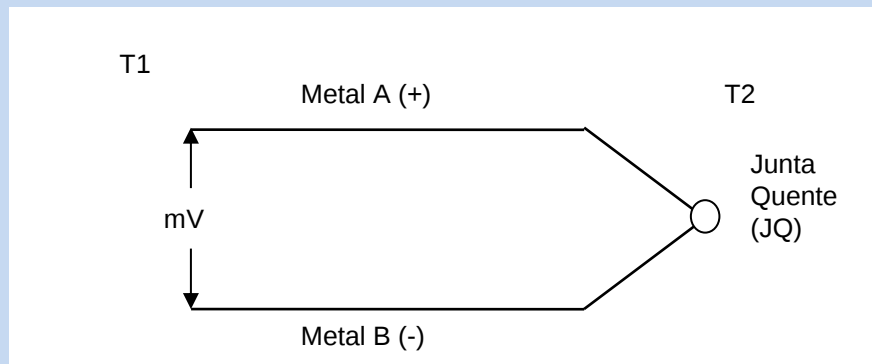


Bimetal com geometria espiral e helicoidal.



- **Sensor baseado em termopar**

- Os termopares se baseiam na propriedade onde dois metais dissimilares unidos em uma junção, chamada de **junta quente**, gera uma força eletromotriz, de alguns milivolts, na outra extremidade submetida a uma temperatura diferente da primeira junção.



Termopar com rosca de conexão (Wika)

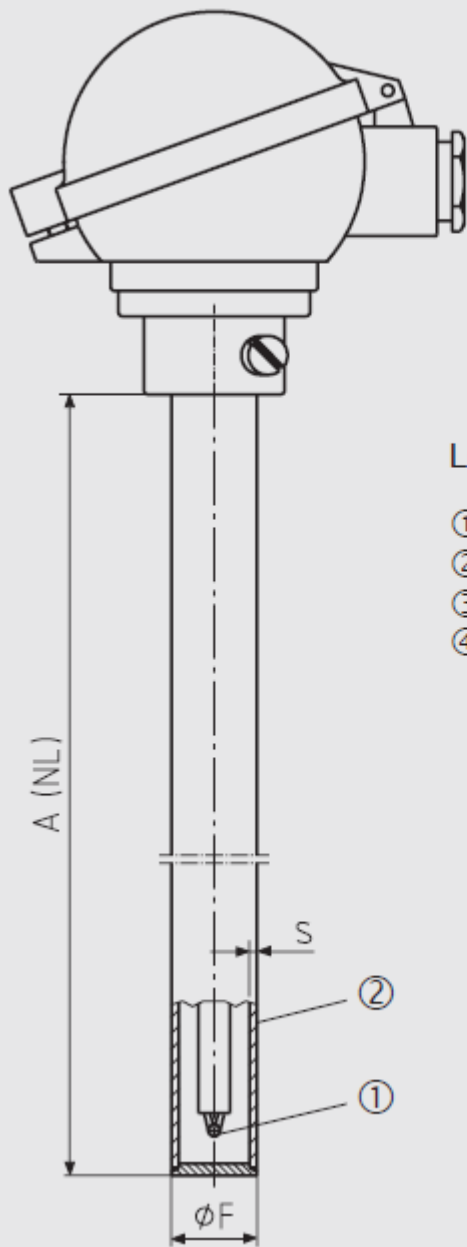
- São usadas diversas ligas metálicas formando vários tipos de termopares, como os listados a seguir:

Tipo de termopar	Ligas metálicas	Faixa de temperatura
E	Cronel/ Constantan	- 100 a 900
J	Ferro/Constantan	-40 a 750
K	Cronel/Alumel	-200 a 1200
R	Platina-ródio 13%Platina	0 a 1600
S	Platina-ródio 10%Platina	0 a 1600
B	Pt-Ródio 30%/Pt-Ródio 6%	600 a 1700
T	Cobre/constantan	-200 a 350

- Cromel é uma liga de Níquel e Cromo, Costantan é uma liga de Cobre e Níquel, enquanto Alumel é uma liga de Níquel e Alumínio.
- O termopar tipo E é o que apresenta a maior geração de mV/°C, sendo útil na detecção de pequenas variações de temperatura.
- O termopar tipo K é o mais usado na indústria devido à sua grande faixa de trabalho e ao custo menor quando comparado com o termopar formado por ligas nobres, como o tipo R.

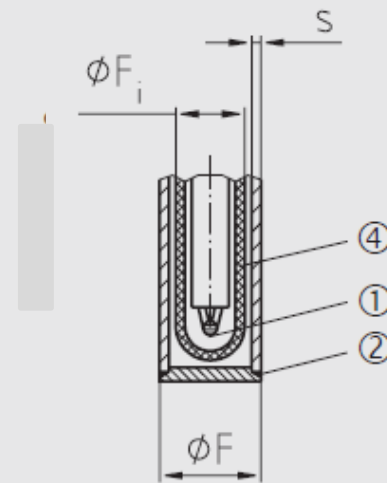
- **O erro** de um termopar é o máximo desvio que ele pode apresentar em relação a um padrão adotado como padrão absoluto. O erro pode ser expresso em graus Celsius ou em porcentagem da temperatura medida, adotando-se o maior entre os dois valores. As normas internacionais, a IEC e ABNT especificam termopares Standard e Especial. Os termopares Standard podem apresentar erro de até $\pm 1,5\%$ enquanto os de classe Especial, em geral, apresentam erro de até $\pm 0,4\%$. Para os termopares de platina, os valores do erro são de $\pm 0,2\%$ e $\pm 0,1\%$, respectivamente.

- A resposta dos termopares não é exatamente linear, existindo, então, a necessidade de se proceder à linearização da sua curva de resposta no instrumento transmissor. A temperatura no ponto de medição normalmente temperatura ambiente, também varia, e os transmissores devem compensar o efeito de tal variação na medida.
- Como os termopares são fios metálicos, sem rigidez mecânica, normalmente são instalados dentro de uma proteção mecânica, chamada de poço termométrico, construído em aço inoxidável AISI 304 ou 316, que também fornece proteção contra corrosão.

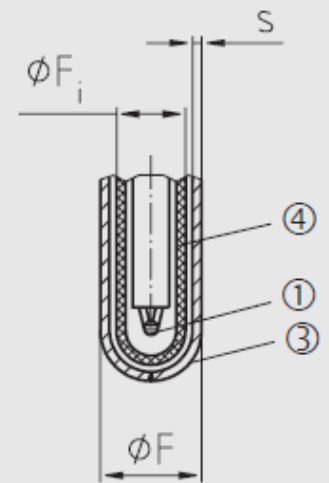


Legend:

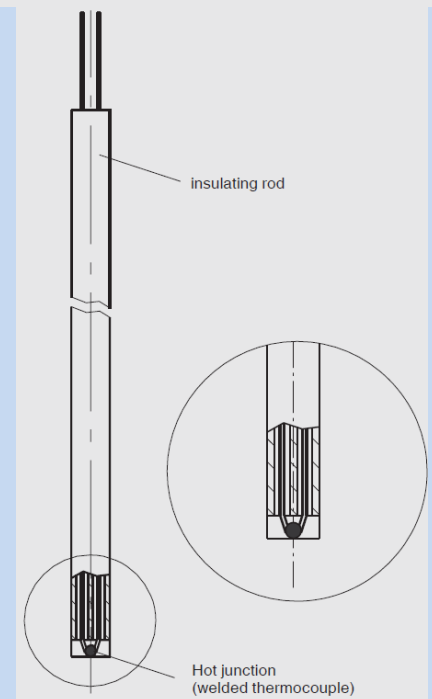
- ① Hot junction
- ② Metal thermowell, flat
- ③ Metal thermowell, dished
- ④ Ceramic inner tube (optional)



Form C
welded base



Form A
rounded base

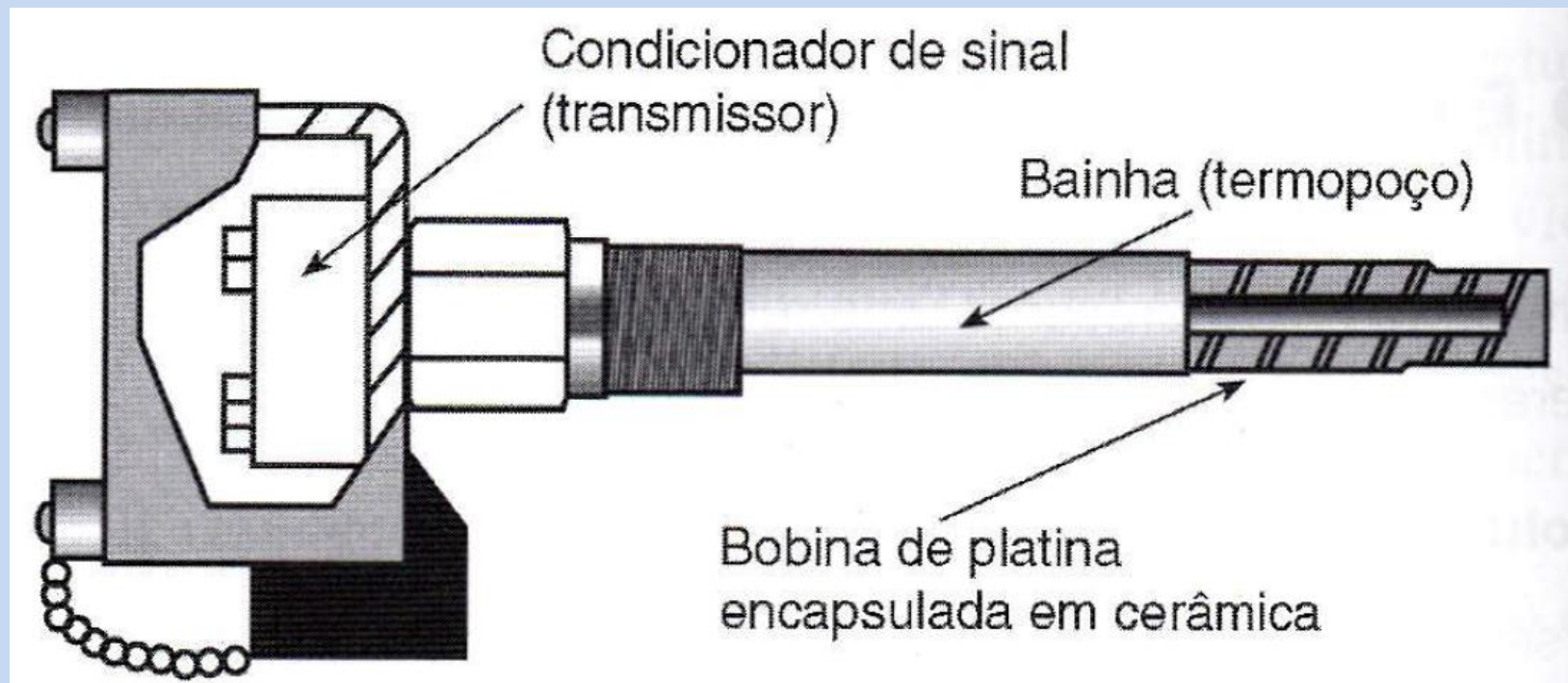


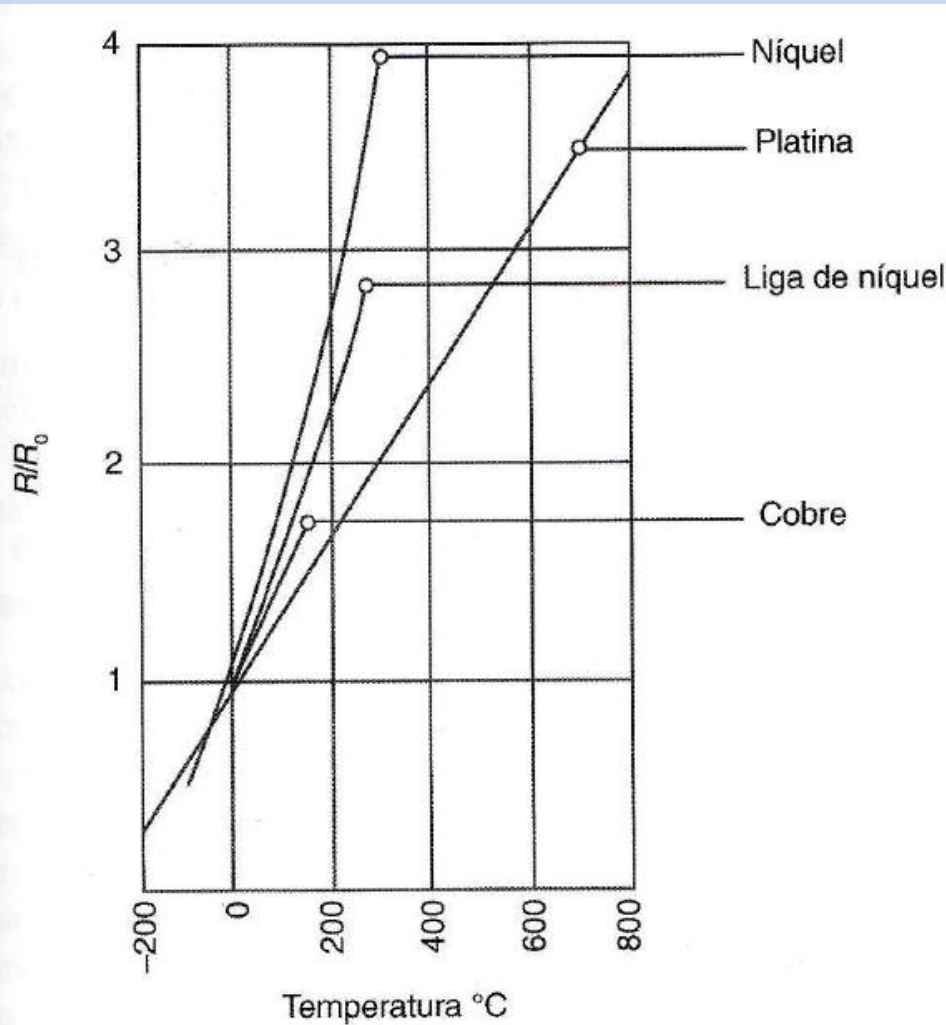
Esquema de um termopar industrial com bainha protetora

- **Sensor baseado em termorresistência**
- As termorresistência, ou RTD, usam o princípio da alteração da resistência elétrica dos metais com a temperatura. Os metais mais usados são os fios de platina, Pt100, e o de níquel, Ni120, assim chamados por apresentarem resistência de 100 e 120 ohms, respectivamente, à temperatura de zero grau Celsius. O Pt100 opera na faixa de – 200 a 850°C, enquanto o Ni120, - 50 a 270°C.
- São precisos na medida: Os comuns tem erro de $\pm 0,1$ °C, enquanto de platina pode chegar a 0,0001 °C



Como os termopares, as termorresistências precisam de uma estrutura que lhes dê proteção física e proteção contra a corrosão, chamada de poço termométrico.





Curva linear da relação entre resistência e temperatura.



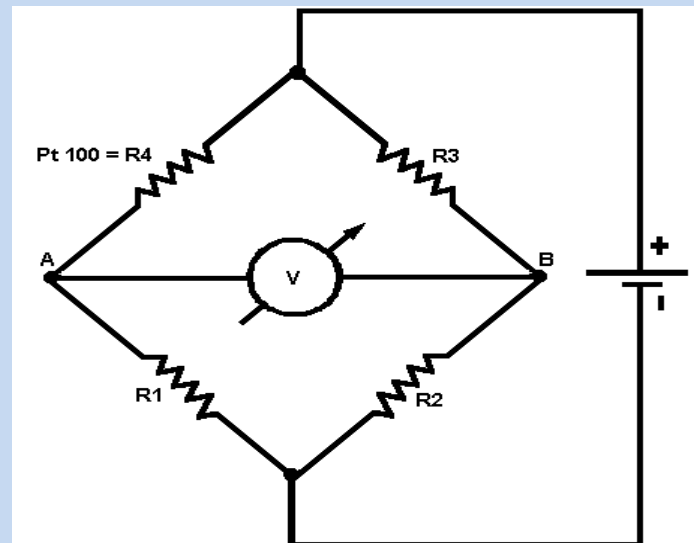
Figura de um pt100

$$R = R_0(1 + \alpha(T - T_0))$$

Pode-se citar alguns α (0 a 100 °C) de Materiais comumente utilizados em RTDs

Cobre	$\rightarrow 0,0043 \, \Omega/\Omega^\circ\text{C}$
Níquel	$\rightarrow 0,00681 \, \Omega/\Omega^\circ\text{C}$ (DIN 47760)
Platina	$\rightarrow 0,00392 \, \Omega/\Omega^\circ\text{C}$ (MIL T 24388)
	$\rightarrow 0,00385 \, \Omega/\Omega^\circ\text{C}$ (IEC 751) (PRT)
Tungstênio	$\rightarrow 0,0046 \, \Omega/\Omega^\circ\text{C}$

As termorresistências são normalmente ligadas a um circuito de medição tipo Ponte de Wheatstone, sendo que o circuito encontra-se balanceado quando é respeitada a relação $R_4.R_2 = R_3.R_1$ e desta forma não circula corrente pelo detector de nulo, pois se esta relação é verdadeira, os potenciais nos pontos A e B são idênticos.



Ponte de Wheatstone

- As termorresistências Pt100: São as mais utilizadas industrialmente, devido a sua grande estabilidade, larga faixa de utilização e alta precisão. Devido à alta estabilidade das termorresistências de platina, as mesmas são utilizadas como padrão de temperatura na faixa de $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $660\text{ }^{\circ}\text{C}$. A estabilidade é um fator de grande importância na indústria, pois é a capacidade do sensor manter e reproduzir suas características (resistência - temperatura) dentro da faixa especificada de operação.
- Outro fator importante num sensor Pt100 é a repetibilidade, que é a característica de confiabilidade da termorresistência. Repetibilidade deve ser medida com leitura de temperaturas consecutivas, verificando-se a variação encontrada quando de medição novamente na mesma temperatura.

- **Campo da aplicação:**
- O sensor da resistência Pt100/Pt1000 térmica é usado para as aplicações precisas da monitoração de temperatura, onde os erros na medida têm que ser excluídos. O relacionamento linear do resistor à temperatura, simplifica seu uso em muitas aplicações eletrônicas.
- A precisão do Pt100/Pt1000 permite seu uso universal para a monitoração, o controle e o interruptor de temperatura nos enrolamentos, nos rolamentos, nas máquinas, nos motores, nos transformadores e em muitas outras aplicações industriais.
- Reatores, tanques e trocadores de calor.

Vantagens:

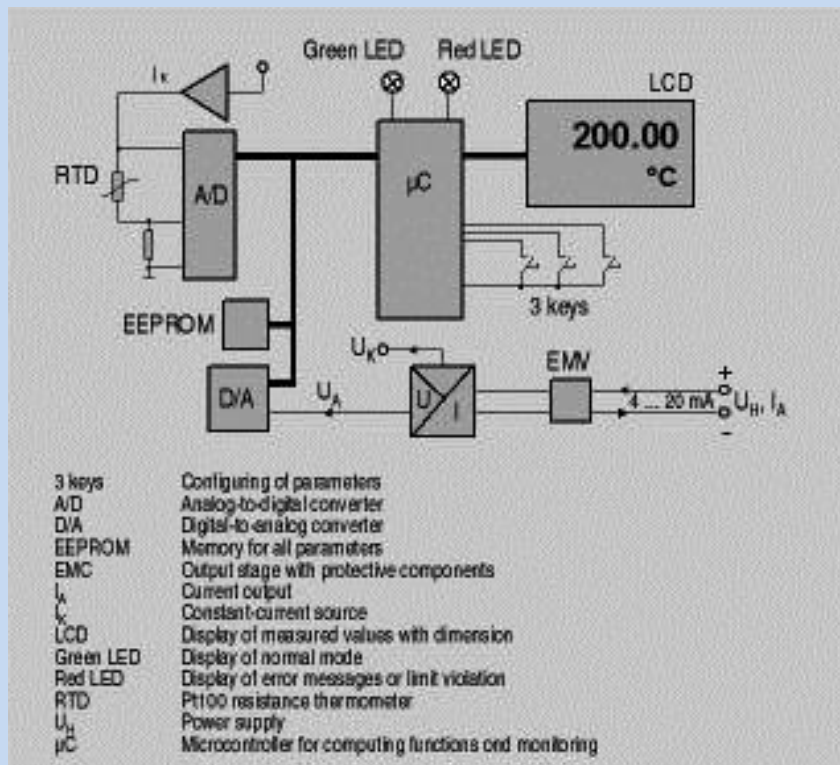
- a) Possuem maior precisão dentro da faixa de utilização do que outros tipos de sensores.
- b) Com ligação adequada não existe limitação para distância de operação.
- c) Dispensa utilização de fiação especial para ligação.
- d) Se adequadamente protegido, permite utilização em qualquer ambiente.
- e) Têm boas características de reprodutibilidade.
- f) Em alguns casos substitui o termopar com grande vantagem.

Desvantagens:

- a) São mais caros do que os sensores utilizados nessa mesma faixa.
- b) Deterioram-se com mais facilidade, caso haja excesso na sua temperatura máxima de utilização.
- c) Temperatura máxima de utilização 630 °C.
- d) É necessário que todo o corpo do bulbo esteja com a temperatura equilibrada para indicar corretamente.
- e) Alto tempo de resposta.

Transmissor de Temperatura

- Os transmissores de temperatura convertem a informação de termopares e termorresistência nos sinais padronizados de transmissão analógica ou digital, além de fazer as linearizações e compensações de temperatura. Os circuitos internos são semelhantes aos dos transmissores de pressão.



Desenho esquemático de um transmissor de temperatura

Exercícios:

- a) Cite duas aplicações de sensores de temperatura por efeitos mecânicos..
- b) Explique o princípio de funcionamento de um termômetro bimetálico.
- c) Qual a faixa de temperatura típica de um sensor metálico (RTD) de platina.
- d) Porque é necessário a utilização de termo termométrico para os sensores RTD e termopar, justifique.
- e) Quais as vantagens de desvantagens de um sensor RTD.