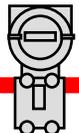




TÉCNICAS
DE
MEDIÇÃO DE TEMPERATURA



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MÉTODO DE MEDIÇÃO

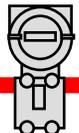
Podemos dividir os medidores de temperatura em dois grandes grupos, conforme a tabela abaixo:

1º grupo (contato direto)

- Termômetro à dilatação
 - de líquidos
 - de sólido
- Termômetro à pressão
 - de líquido
 - de gás
 - de vapor
- Termômetro a par termoelétrico
- Termômetro à resistência elétrica

2º grupo (contato indireto)

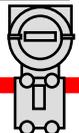
- Pirômetro óptico
- Pirômetro fotoelétrico
- Pirômetro de radiação



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

	DIRETO	INDIRETO
Condição necessária para medir com precisão	1) Estar em contato com o objeto a ser medido. 2) Praticamente não mudar a temperatura do objeto devido ao contato do detector.	1) A radiação do objeto medido tem que chegar até o detector.
Característica	1) É difícil medir a temperatura de um objeto pequeno, porque este tem tendência de mudança de temperatura quando em contato com um objeto cuja temperatura é diferente. 2) É difícil medir o objeto que está em movimento	1) Não muda a temperatura do objeto porque o detector não está em contato direto com o mesmo. 2) Pode medir o objeto que está em movimento. 3) Geralmente mede a temperatura da superfície. 4) Depende da emissividade
Faixa de Temperatura	É indicado para medir temperaturas menores que 1600°C.	É adequado para medir temperaturas elevadas ($> -50\text{ }^{\circ}\text{C}$).
Precisão	Geralmente, $\pm 1\%$ da faixa	Geralmente 3 a 10 °C
Tempo de Resposta	Geralmente grande ($> 5\text{min}$)	Geralmente pequeno (0,3 ~ 3 s)



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMÔMETROS DE DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA

São baseados no fenômeno de dilatação aparente de um líquido dentro de um recipiente fechado.

$$V = V_0 (1 + \rho_a \cdot t)$$

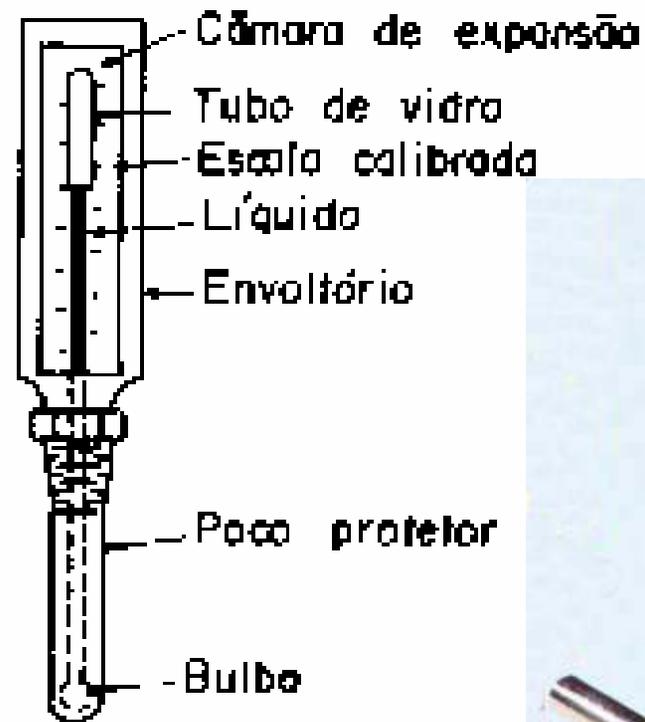
Onde:

V = volume aparente à temperatura t .

V_0 = volume aparente à temperatura 0° .

ρ_a = coeficiente de dilatação aparente do líquido.

t = temperatura do líquido.



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMÔMETROS DE DILATAÇÃO
VOLUMÉTRICA



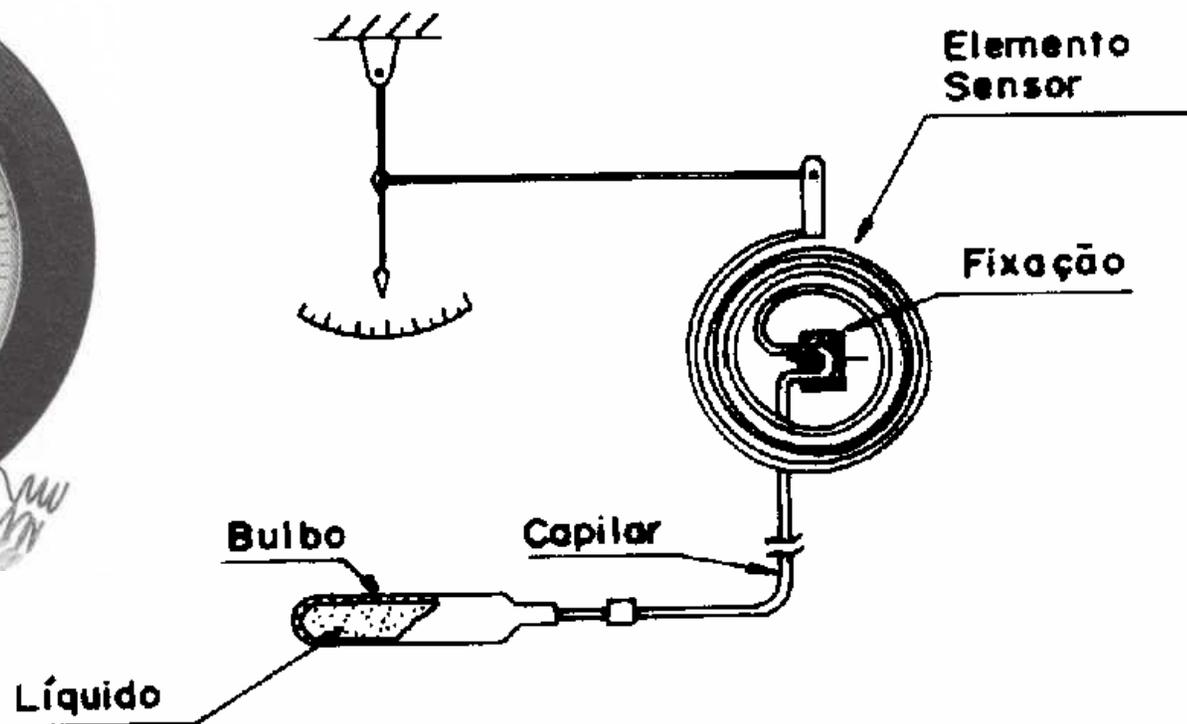
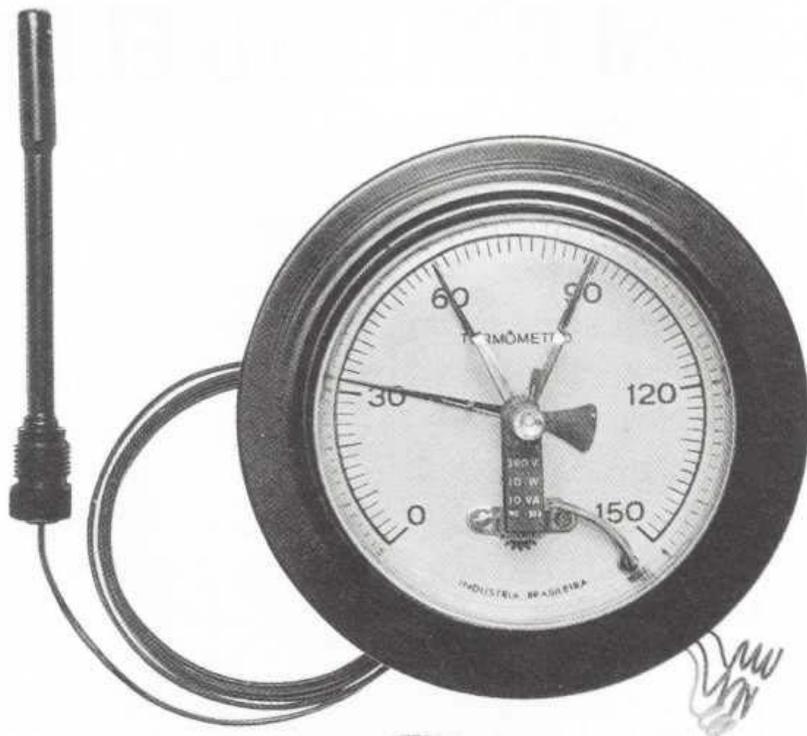
Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMÔMETROS DE DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA

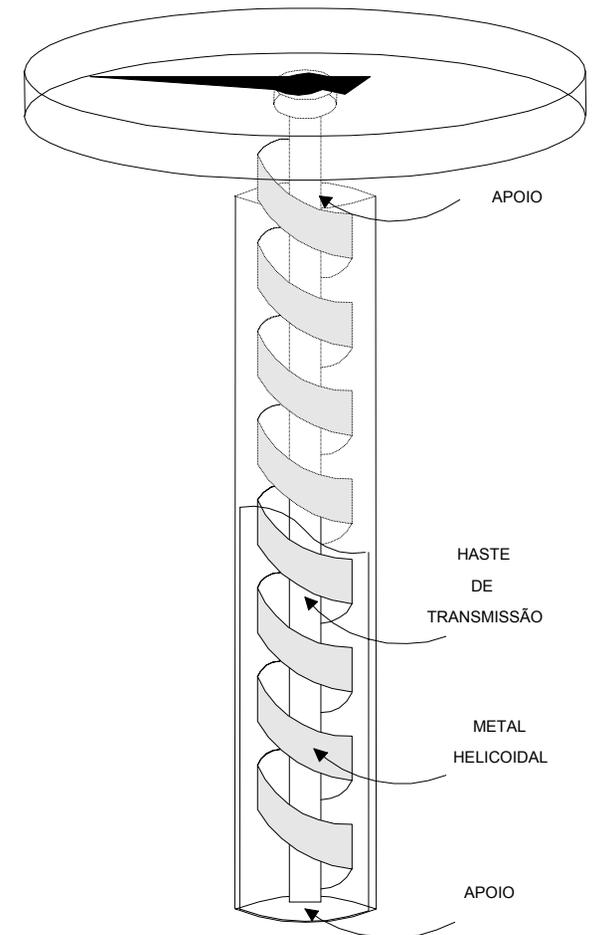
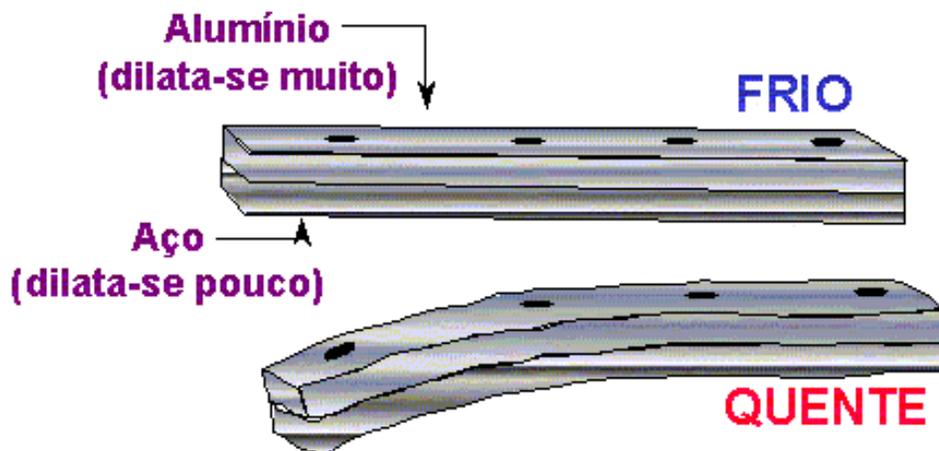


PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

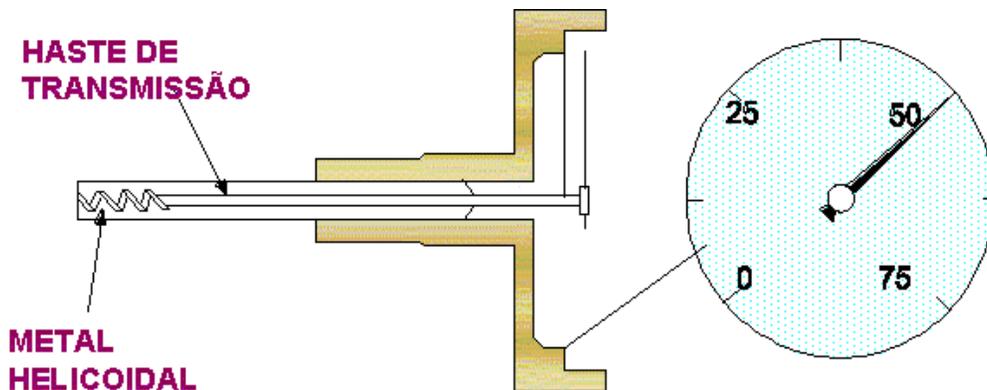
TERMÔMETRO BIMETÁLICO

A operação deste tipo de termômetro se baseia no fenômeno da dilatação linear dos metais com a temperatura. Na prática a lâmina bimetálica é enrolada em forma de espiral ou hélice, o que aumenta mais ainda a sensibilidade do sistema conforme a figura. O termômetro mais usado é o de lâmina bimetálica helicoidal. E consiste de um tubo bom condutor de calor, do interior do qual é fixada um eixo que por sua vez recebe um ponteiro que se desloca sobre uma escala. Normalmente o eixo gira de um ângulo de 270° para uma variação de temperatura que cubra toda a faixa do termômetro.



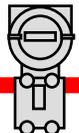
PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA



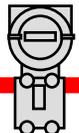
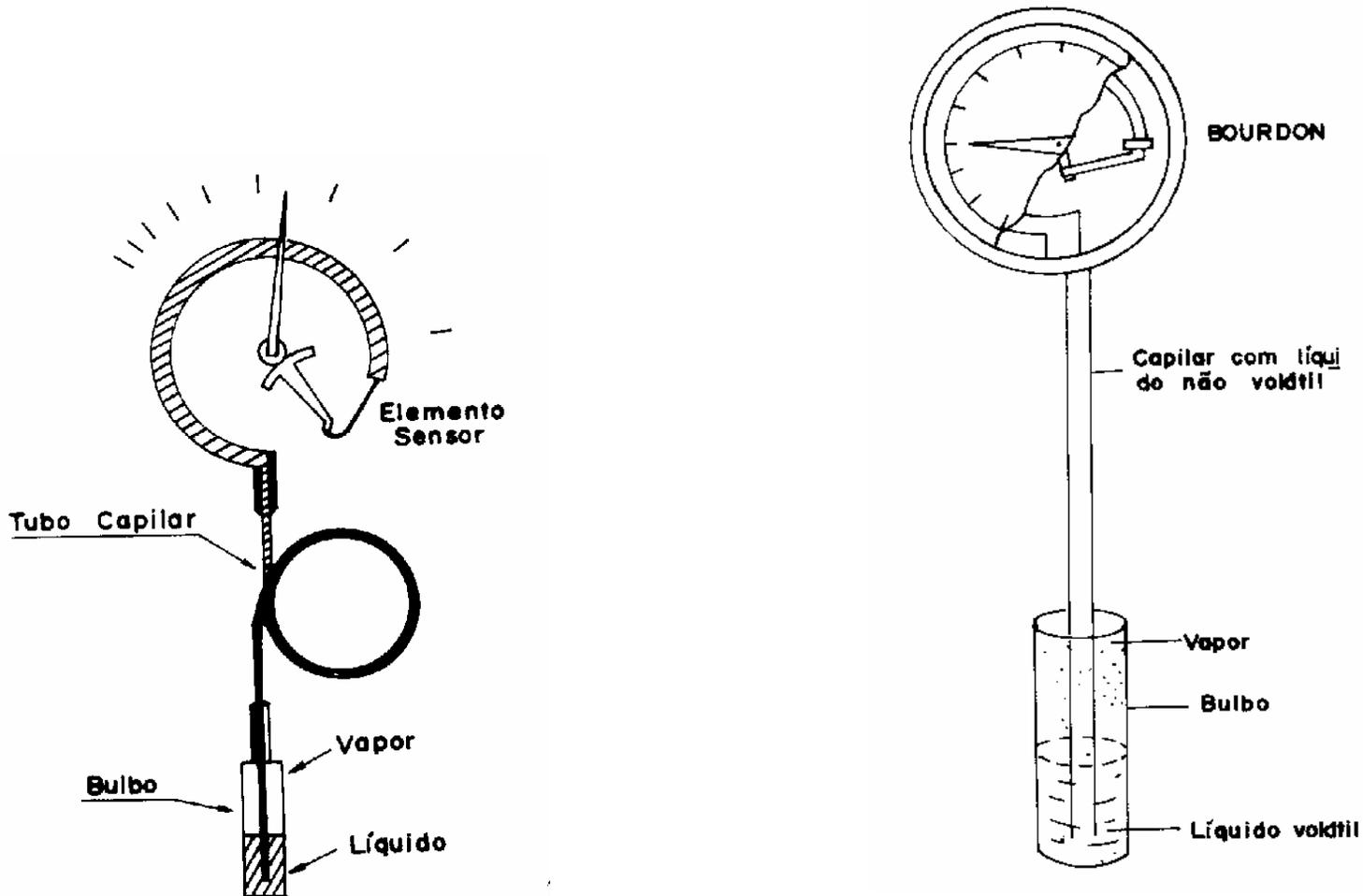
Recomendações na instalação

- Utilizar sempre poço protetor metálico para evitar corrosão, dar proteção mecânica e permitir manutenção com o processo em operação.
- Em baixa temperatura a caixa do termômetro bimetálico deve ser hermeticamente selada para evitar que a penetração da umidade venha a formar gelo, prejudicando os componentes internos do instrumento.
- Para evitar erros devido à temperatura ambiente, o bimetálico deve estar completamente imerso no fluido.
- A velocidade do fluido deve ser bastante alta a fim de assegurar uma rápida transferência de calor.



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

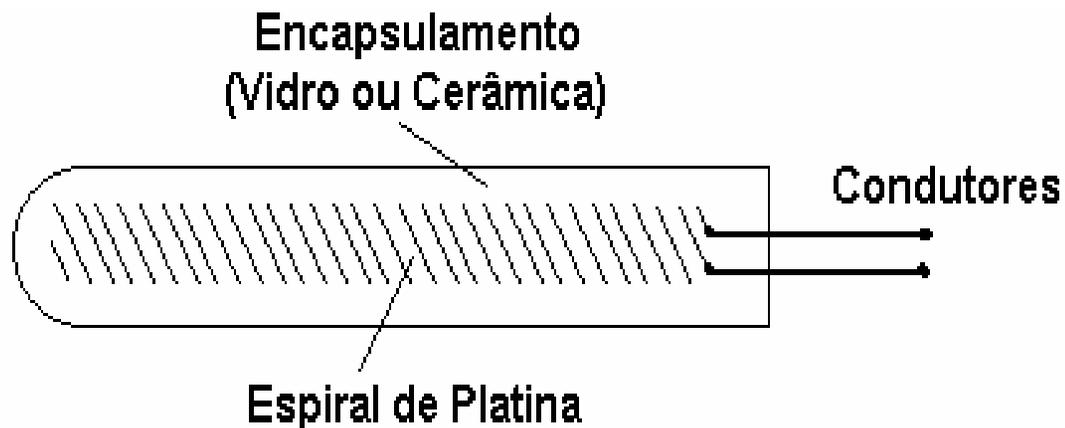
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência

O princípio de medição de temperatura por meio de termômetros de resistência, repousa essencialmente sobre a medição de variação da resistência elétrica de um fio metálico em função da temperatura. A relação matemática entre a resistência de um condutor e sua temperatura é dada pela fórmula aproximada:

$$R = R_0 (1 + \alpha t)$$

Onde: R = resistência à $t^{\circ}\text{C}$.
 R_0 = resistência à 0°C .
 α = coeficiente de variação de resistência do metal com a temperatura.
 t = temperatura.



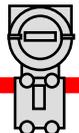
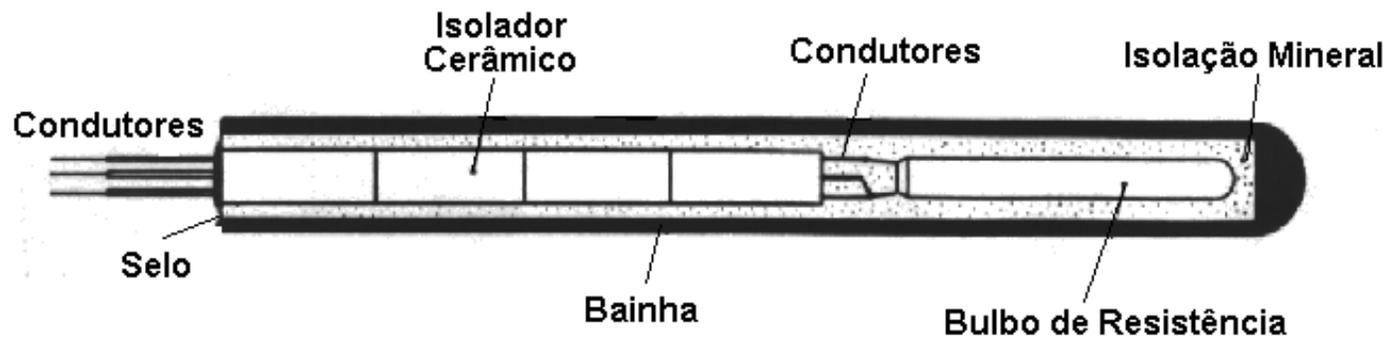
PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência Características Desejáveis:

O tipo de metal utilizado na confecção de bulbos sensores de temperatura, deve possuir características apropriadas, como:

- Maior coeficiente de variação de resistência com a temperatura ($\alpha_1, \alpha_2, \dots \alpha_n$), quanto maior o coeficiente, maior será a variação da resistência para uma mesma variação de temperatura, tornando mais fácil e precisa a sua medição.
- Maior resistividade, isto é, para pequenas dimensões de fio uma alta resistência inicial.
- Estabilidade do metal para as variações de temperatura e condições do meio (resistência à corrosão, baixa histerese, etc.).
- Linearidade entre a variação de resistência e a temperatura, produzindo escalas de leitura de maior precisão e com maior comodidade de leitura.



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência:

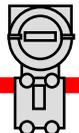
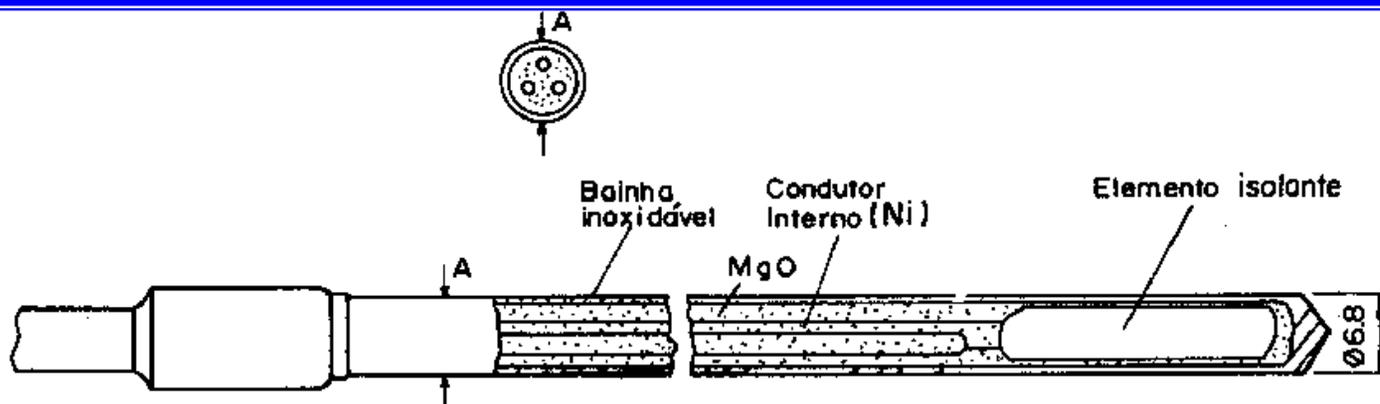
A exatidão dos termômetros de resistência, quando corretamente instalados, é grande, pode atingir a $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$. Normalmente as sondas utilizadas industrialmente apresentam uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. No Brasil usa-se normalmente a norma DIN-IEC 751/85 que estabelece para termômetros de resistência de platina o valor de $100,00\Omega$ a 0°C , e de $138,50\Omega$ a 100°C . Este sensor chama-se PT100.

Os metais utilizados com maior frequência na confecção de termo resistência são:
PLATINA - faixa - 200 à 600°C (excepcionalmente 1200°C) - Ponto de Fusão 1774°C .

NÍQUEL - faixa - 200 à 300°C - Ponto de Fusão 1455°C .

COBRE - faixa - 200 à 120°C - Ponto de Fusão 1023°C .

Para pequenas faixas de temperatura um coeficiente médio α , variação de resistência, pode ser utilizado. Porém, para faixas mais amplas, necessita-se a introdução dos coeficientes de ordem superior, para uma maior aproximação à curva real de radiação R versus T .



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência Classe de Exatidão

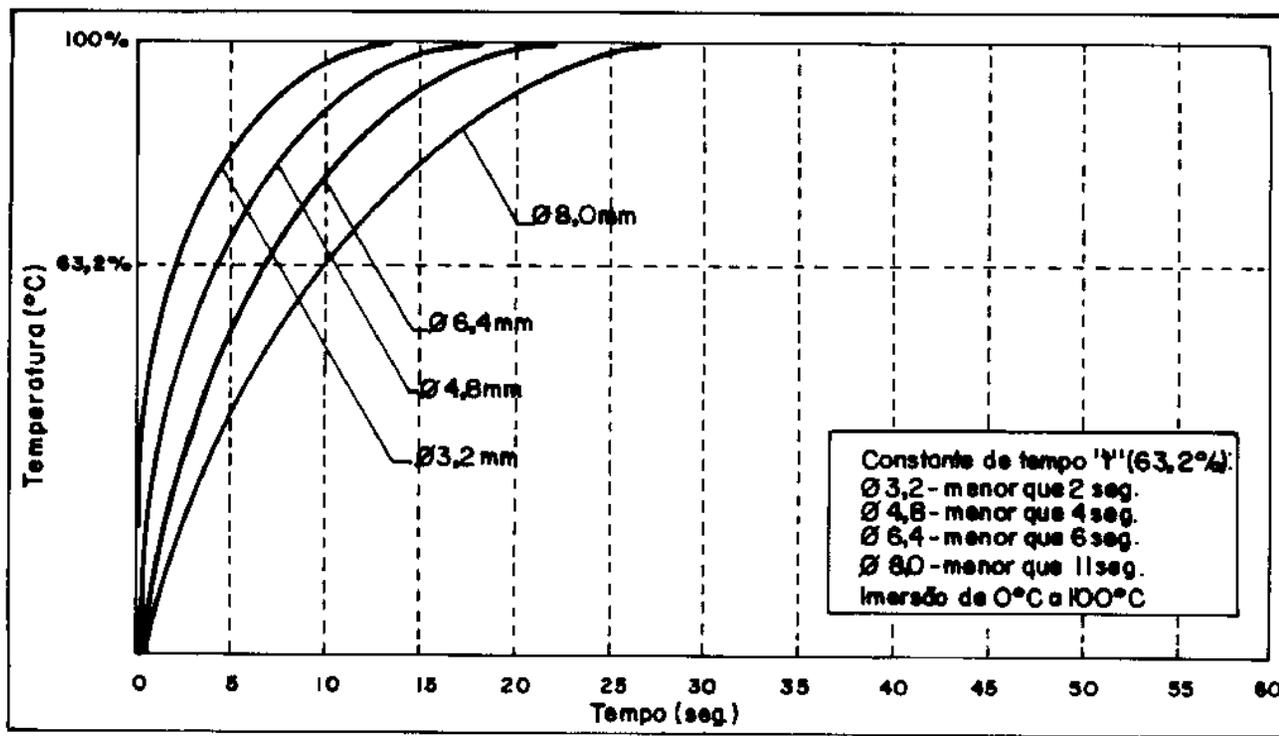
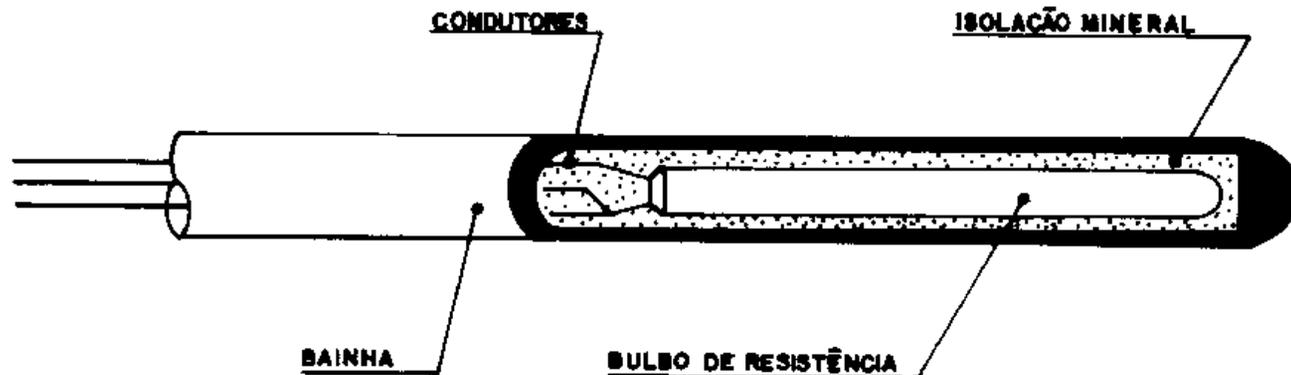
Temperatura °C	Tolerância			
	Classe A		Classe B	
	(±°C)	(±Ω)	(±°C)	(±Ω)
-200	0,55	0,24	1,3	0,56
-100	0,35	0,14	0,8	0,32
0	0,15	0,06	0,3	0,12
100	0,35	0,13	0,8	0,30
200	0,55	0,20	1,3	0,48
300	0,75	0,27	1,8	0,64
400	0,95	0,33	2,3	0,79
500	1,15	0,38	2,8	0,93
600	1,35	0,43	3,3	1,06
650	1,45	0,46	3,55	1,13
700	-	-	3,8	1,17
800	-	-	4,3	1,28
850	-	-	4,55	1,34



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência
Tempo de Resposta



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência - Bainha de Proteção

A escolha do material da bainha é fundamental para a vida útil do termopar com isolamento mineral, pois se a bainha resistir às condições do ambiente agressivo, o termoelemento também resistirá

Material da Bainha	Temperatura Máx. Recomendada °C	Considerações Gerais
Inóx 304	900	Boa resistência a corrosão, podendo ser usada em atmosfera oxidante, redutora, neutra e no vácuo. Não recomendável o uso na presença de enxofre ou chamas redutoras.
Inóx 310	1100	Boas propriedades de resistência a oxidação em altas temperaturas, utilizável em atmosfera oxidante, redutora, neutra ou no vácuo. Bom para uso em atmosfera sulfurosa.
Inóx 316	900	Maior resistência a corrosão do que o Inóx 304, boa resistência a ácidos e álcalis.
Alloy 600	1150	Excelente resistência a oxidação em altas temperaturas. Seu uso em atmosferas com enxofre deve ser evitado.
Aço cromo 446	1100	Excelente resistência à corrosão e oxidação em alta temperatura. Boa resistência em atmosferas sulfurosas.

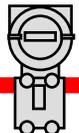
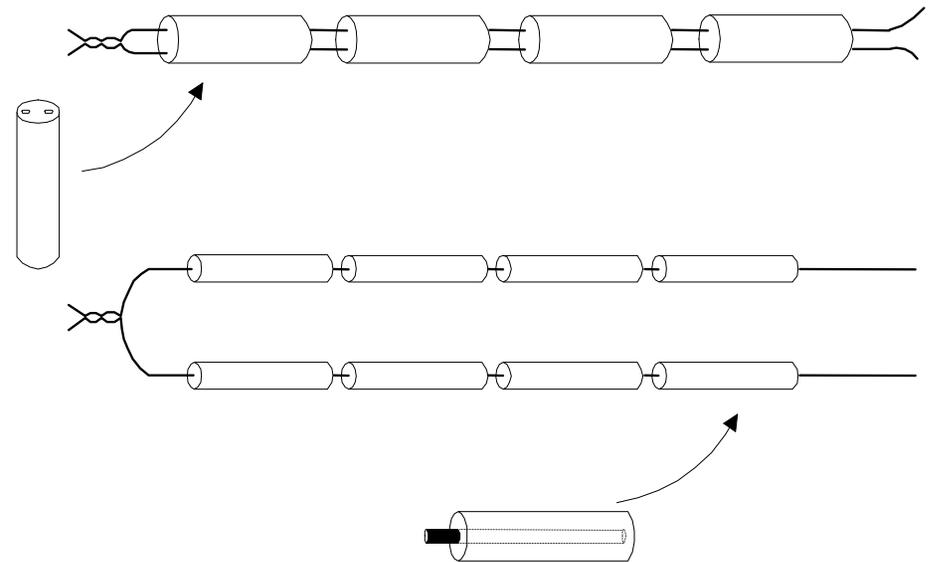
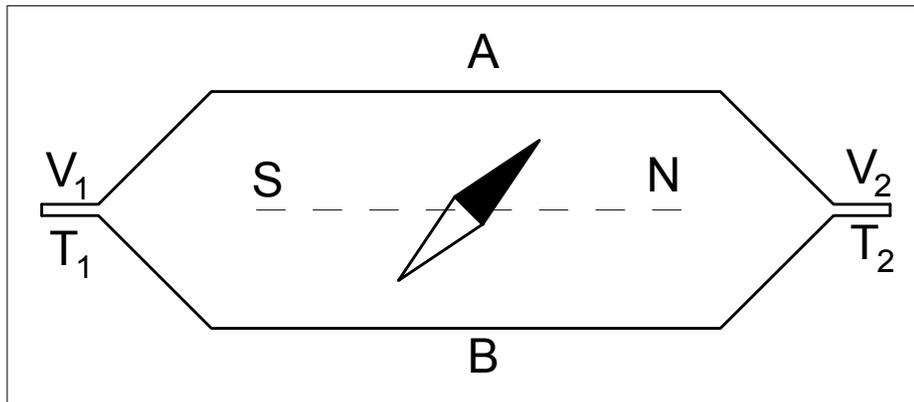


PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMOPAR

A experiência de SEEBECK demonstrou que num circuito fechado, formado por dois fios de metais diferentes, se colocarmos os dois pontos de junção à temperaturas diferentes, se cria uma corrente elétrica cuja intensidade é determinada pela natureza dos dois metais, utilizados e da diferença de temperatura entre as duas junções.

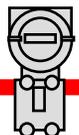
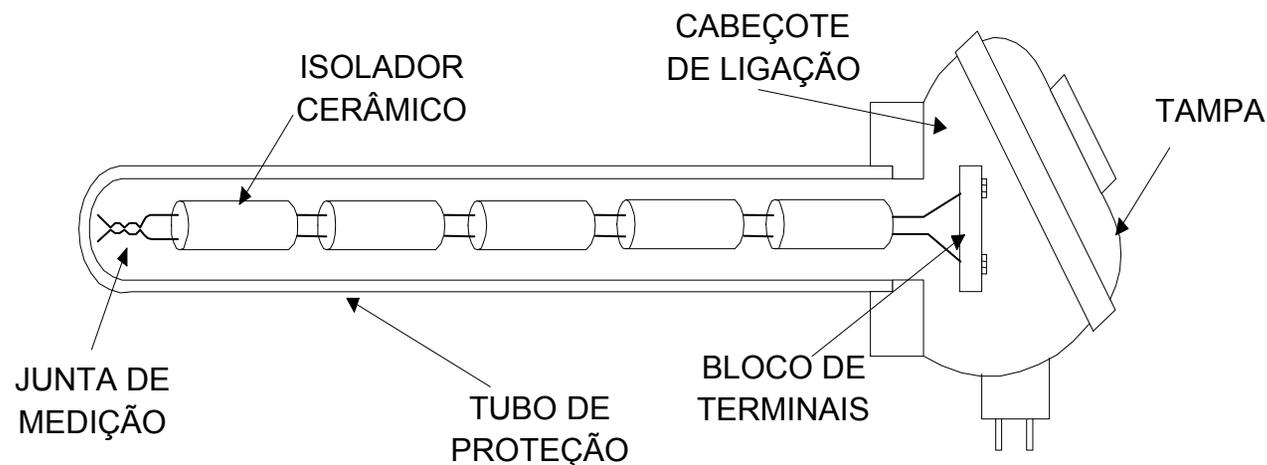


PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMOPAR-Principais Qualidades Requeridas por um Termopar

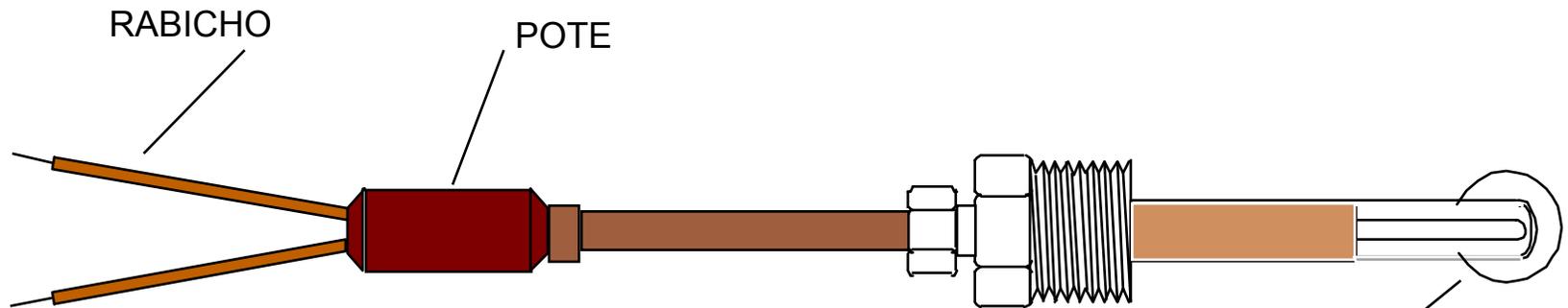
- a) **Desenvolver uma F.E.M. a maior possível**, função contínua da temperatura de maneira a ser possível utilizar instrumentos de indicação de temperatura de construção simples e robusta. A faixa de F.E.M. normalmente fornecida nas temperaturas de trabalho normal vai de 10 a 50mV.
- b) **Precisão de calibração (intercambialidade)**. Um termopar deve ser capaz de ser calibrado com um padrão de F.E.M. versus temperatura e deve manter esta calibração mantendo-a por um longo período de tempo sem desvios. Os termopares são construídos para trabalhar em conjunto com instrumentos tendo cartas e escalas pré calibradas. A intercambialidade entre dois termopares do mesmo material é a principal razão do seu uso em grande escala na indústria.
- c) **Resistência à corrosão e oxidação (durabilidade)**. Um termopar deve ser física e quimicamente resistente de maneira a possuir uma longa vida, e mais ainda exibindo a propriedade para uma dada temperatura gerar uma F.E.M. constante.
- d) **Relação linear F.E.M. versus temperatura (linearidade)**. É interessante possuir uma relação F.E.M. versus temperatura mais linear possível devido aos seguintes motivos:



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termopar de Isolação Mineral



TERMOPAR-ISOLAÇÃO MINERAL

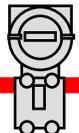
Este tipo de montagem é de extrema utilidade pois os fios ficam completamente isolados dos ambientes agressivos, que podem causar a completa deterioração dos termoelementos, além da grande resistência mecânica o que faz com que o termopar isolamento mineral possa ser usado em um número quase infinito de aplicações

PÓ ÓXIDO DE
MAGNÉSIO

JUNTA DE
MEDIDA

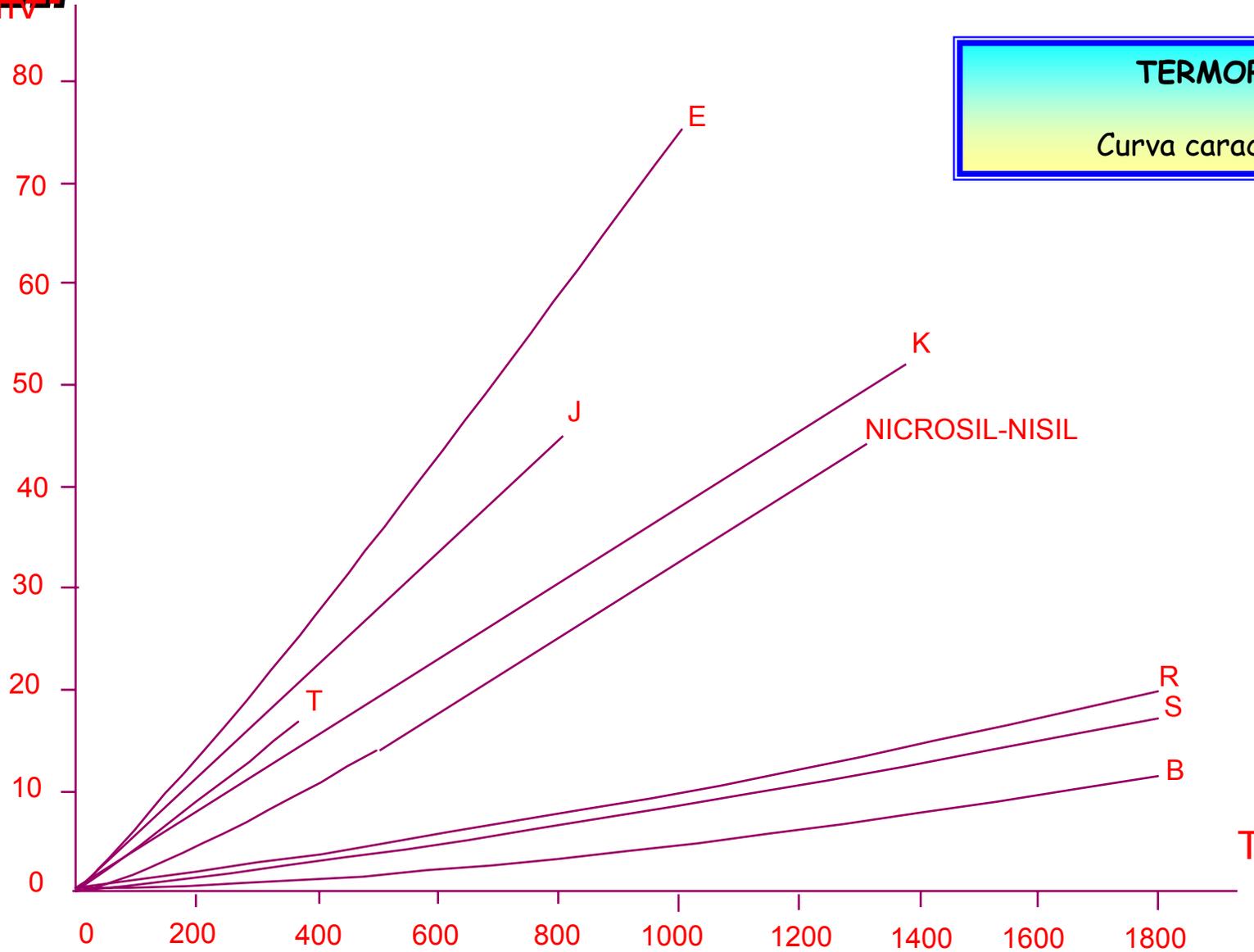
PLUG

BAINHA

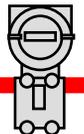


PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA



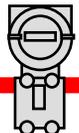
TERMOPARES
Curva característica



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

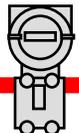
Tipo	Elemento Positivo	Elemento Negativo	Faixa de temp. usual	Vantagens	Restrições
T	Cobre	Constantan	- 184 a 370°C	1) Resiste a atmosfera corrosiva. 2) Aplicável em atmosfera redutora ou oxidante abaixo de 310°C. 3) Sua estabilidade o torna útil em temperaturas abaixo de 0°C.	1) Oxidação do cobre acima de 310°C.
J	Ferro	Constantan	0 a 760°C	1) Baixo Custo. 2) Indicado para serviços contínuos até 760°C em atmosfera neutra ou redutora.	1) Limite máximo de utilização em atmosfera oxidante de 760°C devido à rápida oxidação do ferro. 2) Utilizar tubo de proteção acima de 480°C.
E	Chromel	Constantan	0 a 870°C	1) Alta potência termoelétrica. 2) Os elementos são altamente resistentes à corrosão, permitindo o uso em atmosfera oxidante.	1) Baixa estabilidade em atmosfera redutora.



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

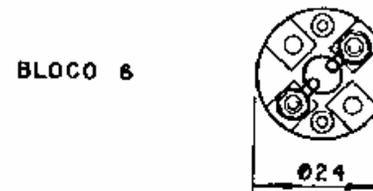
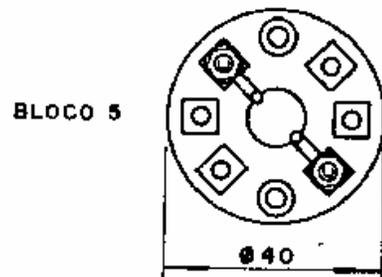
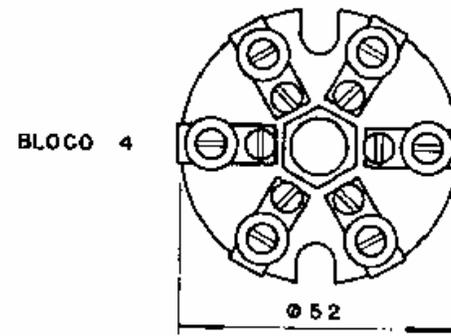
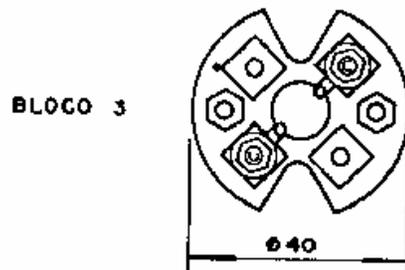
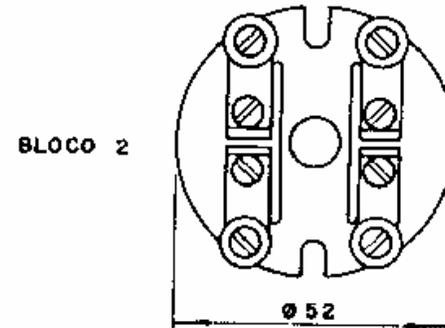
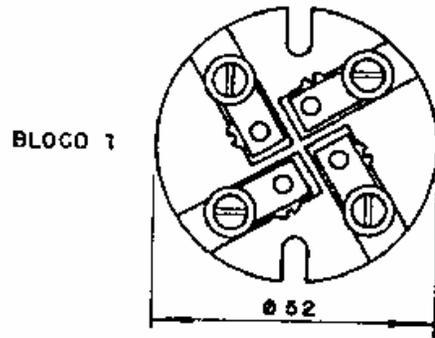
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Tipo	Elemento Positivo	Elemento Negativo	Faixa de temp. usual	Vantagens	Restrições
K	Chromel	Alumel	0 a 1260°C	1) Indicado para atmosfera oxidante. 2) Para faixa de temperatura mais elevada fornece rigidez mecânica melhor do que os tipos S ou R e vida mais longa do que o tipo J.	1) Vulnerável em atmosferas redutoras, sulfurosas e gases como SO ₂ e H ₂ S, requerendo substancial proteção quando utilizado nestas condições.
S	Platina 10% Rhodio	Platina	0 a 1480°C	1) Indicado para atmosferas oxidantes. 2) Apresenta boa precisão a altas temperaturas.	1) Vulnerável à contaminação em atmosferas que não sejam oxidante. 2) Para altas temperaturas, utilizar isoladores e tubos de proteção de alta alumina.
R	Platina 13% Rhodio	Platina			



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

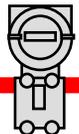
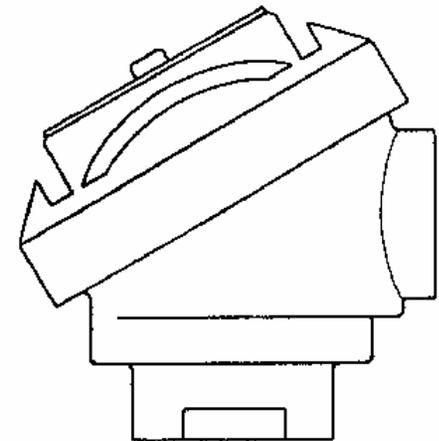
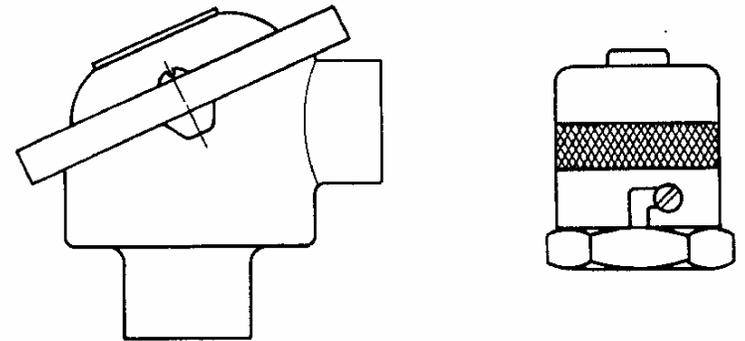
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

A função do cabeçote é de proteger os contatos do bloco de ligação, facilitar a conexão do tubo de proteção e do conduíte, além de manter uma temperatura estável nos contatos do bloco de ligação, para que os contatos feitos de materiais diferentes do termopar não interfiram no sinal gerado por ele.

Os cabeçotes são feitos normalmente, de alumínio ou ferro fundido, existindo também em vários tipos e formatos, dependendo do ambiente a ser aplicado.

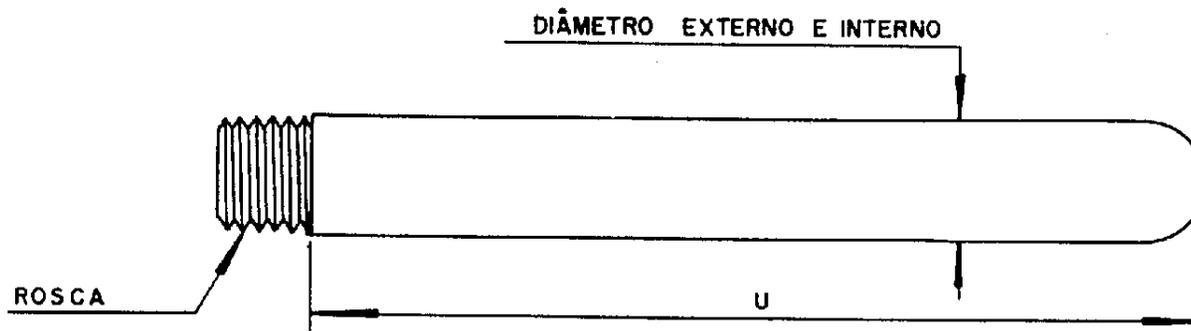
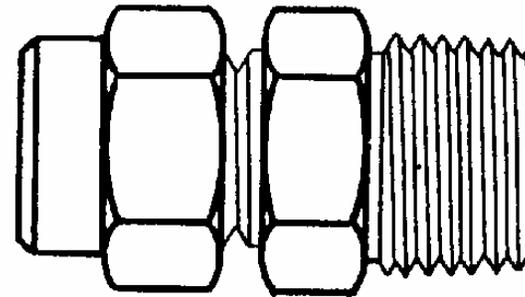
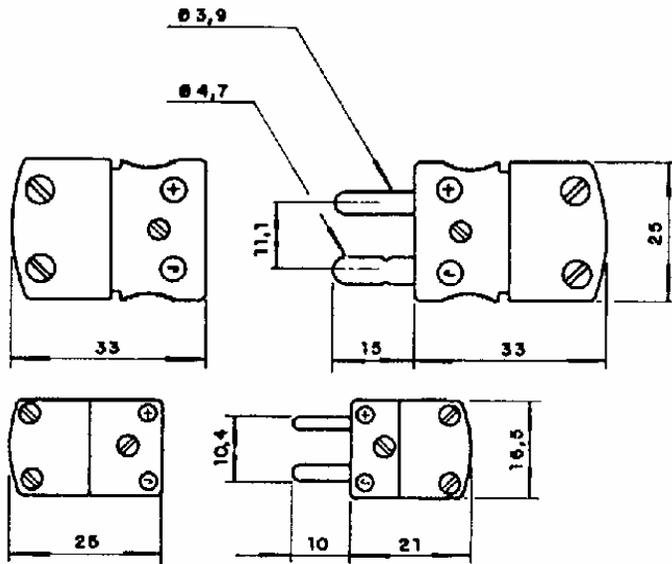
Seus tipos são:

- Universal/miniatura
- À Prova de Tempo
- À Prova de Explosão
- À Prova de Tempo e Explosão
- Cabeçote para Multitermopares

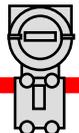


PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

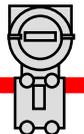
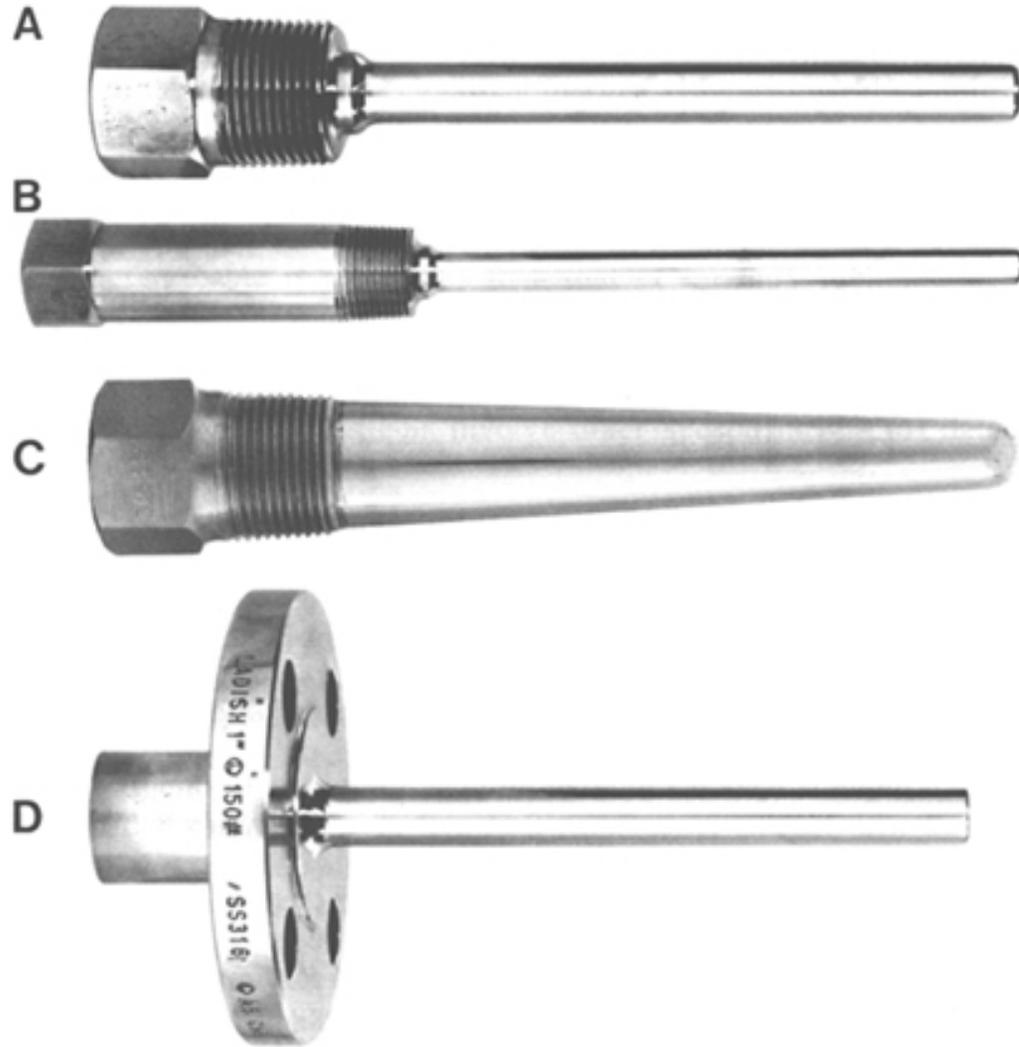
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

