

Temperatura

Adrielle C. Santana

Transferência de Calor



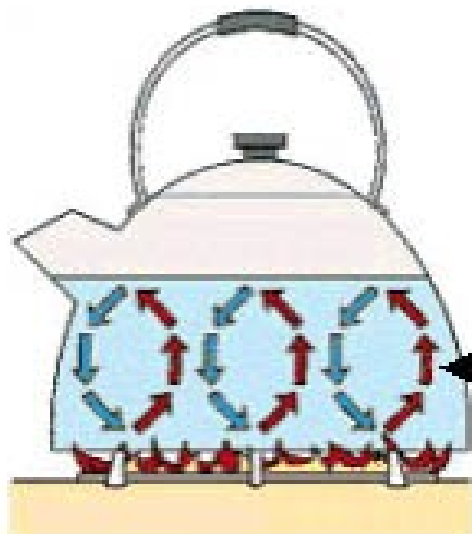
Transferência de Calor

CONDUÇÃO: É a transferência de energia térmica entre átomos e/ou moléculas vizinhas em uma substância, devido a um gradiente de temperatura. Noutras palavras, é um fenômeno de transferência térmica causado por uma diferença de temperatura entre duas regiões em um mesmo meio ou entre dois meios em contato no qual não se percebe movimento global da matéria na escala macroscópica.

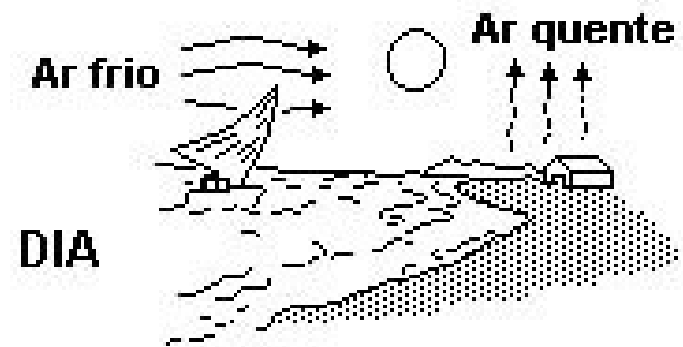
Condução

Transferência de Calor

CONVECÇÃO: Convecção é um processo de transporte de massa e de calor caracterizado pelo movimento de um fluido (líquido ou gasoso) devido a diferença de densidade.



Correntes de convecção



Transferência de Calor

RADIAÇÃO ou IRRADIAÇÃO: é a radiação eletromagnética emitida por um corpo em qualquer temperatura, constituindo uma forma de transmissão de calor, ou seja, por meio deste tipo de radiação ocorre transferência de energia térmica na forma de ondas eletromagnéticas.



Identificações Usuais

TI	Indicador de temperatura (transmitido à casa de controle);
TR	Registrador de temperatura;
TC	Controlador de temperatura;
TA	Alarme (cego) de temperatura.
TIC	Indicador-controlador de temperatura;
TRC	Registrador-controlador de temperatura.
TE	Elemento de medição de temperatura;
TCV	Válvulas de controle, auto-operadas por temperatura;
TSV	Válvulas de segurança (<i>"temperatura safety valve"</i>) para controle de temperatura.

Princípios de Medição de Temperatura

- Expansão térmica;
- Efeito termelétrico;
- Variação de resistência elétrica;
- Variação de frequência de ressonância;
- Emissão radioativa;
- Termografia;

Efeito Termelétrico

A temperatura está diretamente relacionada com a eletricidade por meio dos efeitos termelétricos.

- Efeito Seebeck: Criação de ddp quando dois metais são unidos por um ponto de contato e submetido a um gradiente de temperatura.
- Efeito Peltier: Ao se aplicar uma ddp no circuito formado por um par termelétrico, uma das junções se resfria enquanto a outra se aquece

Efeito Termelétrico

Do efeito Seebeck é possível obter a medição de temperaturas empregando-se o sensor de par termelétrico conhecido como Termopar (Termocouple). A medida é da ordem de milivolts.

A FEM medida depende única e exclusivamente da composição química dos dois metais e das temperaturas existentes nas junções.

O efeito aparece em qualquer

Efeito Termelétrico

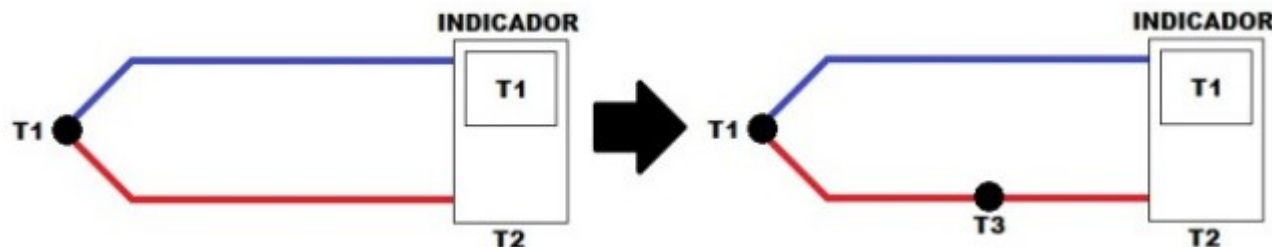
ANIMAÇÕES

Efeito Termelétrico

LEIS DOS TERMOPARES

LEI DO CIRCUITO HOMOGÊNEO

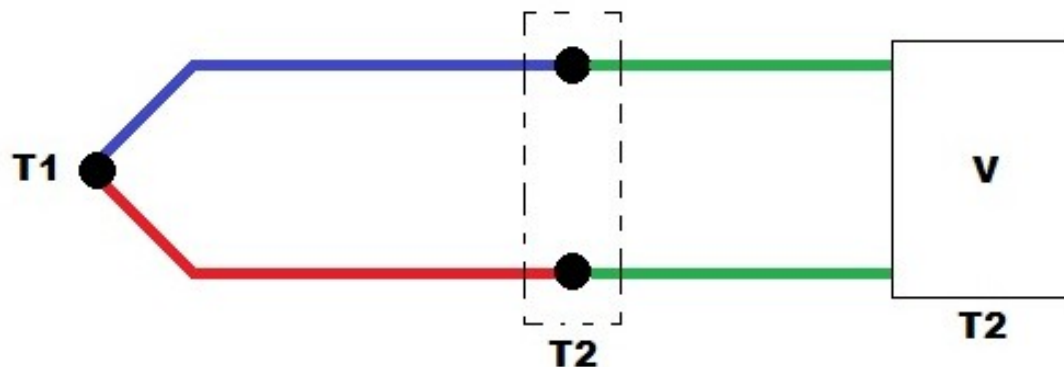
Esta lei enuncia que a tensão gerada a partir de um circuito formado a partir de dois metais diferentes com suas junções sujeitas a duas temperaturas T_1 e T_2 , não depende do gradiente de temperatura, ou seja, não depende da distribuição da mesma ao longo dos fios mas sim, depende dos metais em questão (em virtude da densidade de elétrons) e das temperaturas existentes nas **junções** (desde que as estruturas dos condutores permaneçam homogêneas).



Efeito Termelétrico

LEI DOS METAIS INTERMEDIÁRIOS

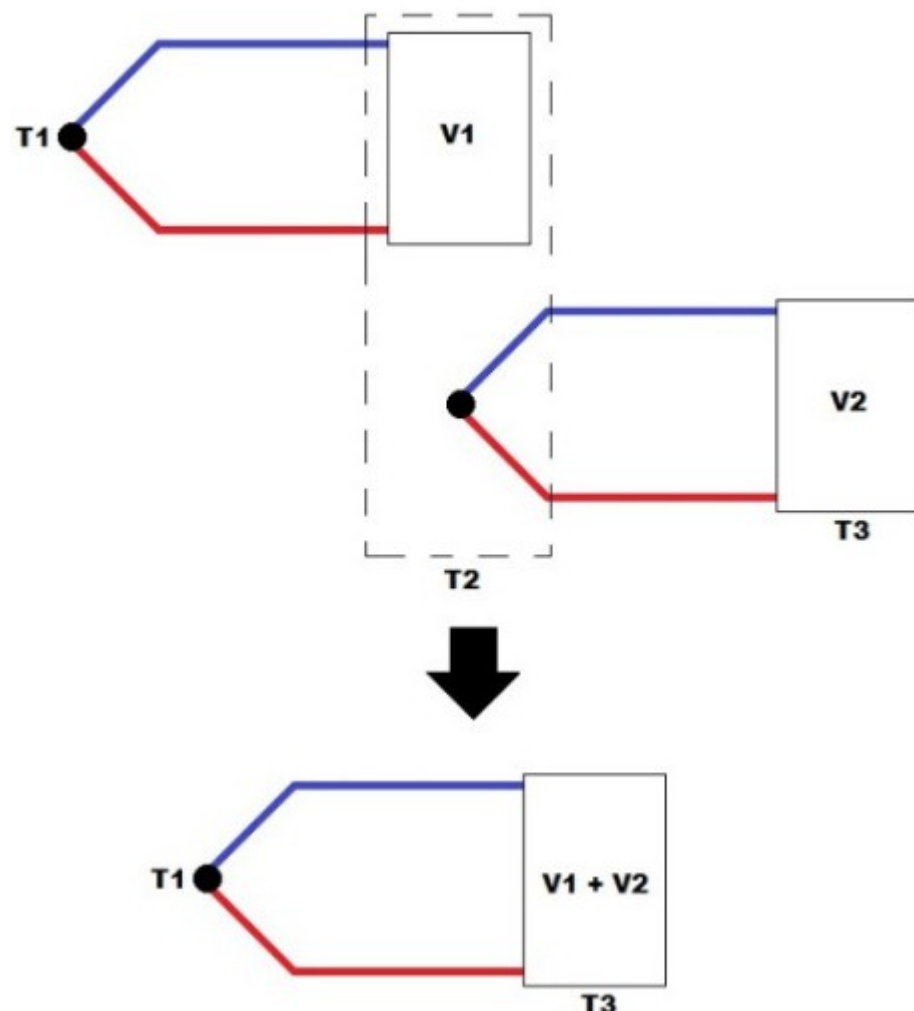
Esta lei estabelece que em um circuito, composto de dois metais diferentes, a tensão gerada não será modificada caso seja inserido um outro metal intermediário em qualquer ponto do circuito, desde que as junções recém formadas sejam mantidas a uma mesma temperatura devida. Isto ocorre devido ao fato de que a tensão gerada a partir destas duas novas junções será igual a zero (como dito anteriormente, a tensão gerada depende da existência de uma diferença de temperatura entre as junções). Este princípio por sua vez garante o uso de fios de extensão, bem como de conectores.



Efeito Termelétrico

LEI DAS TEMPERATURAS INTERMEDIÁRIAS

Esta Lei estabelece a correspondência entre a soma das tensões geradas por dois termopares feitos de mesmos materiais, sendo que um encontra-se com suas junções expostas às temperaturas T_1 e T_2 e o outro por sua vez está com as juntas às temperaturas T_2 e T_3 , como sendo a mesma tensão gerada caso um único termopar esteja com suas junções situadas em pontos cujas temperaturas são T_1 e T_3 .



Efeito Termelétrico



Os mini refrigeradores e aquecedores Fixxar são trivolt, ou seja, podem ser ligados em 110 ou 220 volts, para uso doméstico ou no escritório, ou também na tomada 12 volts de veículos e

Efeito Termelétrico

TERMOPAR TIPO	EXTENSÃO OU COMPENSA- ÇÃO TIPO	MATERIAL DOS CONDUTORES		COLORAÇÃO DA ISOLAÇÃO								
				NORMA AMERICANA ANSI MC – 96.1 – 1982			NORMA ALEMÃ DIN 43710-4			IEC 584-3		
		POSITIVO	NEGATIVO	CAPA EXTERNA	POSITIVO	NEGATIVO	CAPA EXTERNA	POSITIVO	NEGATIVO	CAPA EXTERNA	POSITIVO	NEGATIVO
T	TX	Cobre	Constantan	Azul	Azul	Vermelha	Marrom	Vermelha	Marrom	Marrom	Marrom	Branca
J	JX	Ferro	Constantan	Preta	Branca	Vermelha	Azul	Vermelha	Azul	Preto	Preto	Branca
E	EX	Chromel	Constantan	Roxa	Roxa	Vermelha	–	–	–	Violeta	Violeta	Branca
K	KX	Chromel	Alumel	Amarela	Amarela	Vermelha	Verde	Vermelha	Verde	Verde	Verde	Branca
K	WX	Ferro	Cupronel	Branca	Verde	Vermelha	Verde	Vermelha	Verde	–	–	–
S,R	SX	Cobre	Cu/Ni	Verde	Preta	Vermelha	Branca	Vermelha	Branca	Laranja	Laranja	Branca
B	BX	Cobre	Cobre	Cinza	Cinza	Vermelha	–	–	–	–	–	–
N	NX	Nicrosil	Nisil	Laranja	Laranja	Vermelha	–	–	–	Rosa	Rosa	Branca

Efeito Termelétrico

CARACTERÍSTICAS DE TERMOPARES

Tipo	Elemento Positivo	Elemento Negativo	Faixa de Temperatura Usual	Características	Restrições
T	Cobre (+)	Constantan (-)	-184 a 370°C	Podem ser usados em atmosferas oxidantes, redutores, inertes e no vácuo. Adequados para medições abaixo de zero grau.	1) Oxidação do cobre acima de 310°C.
J	Ferro (+)	Constantan (-)	0 a 760°C	Podem ser usados em atmosferas oxidantes, redutores, inertes e no vácuo. Não devem ser usados em atmosferas sulfurosas e não se recomenda o uso em temperaturas abaixo de zero grau. Apresenta baixo custo.	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	Níquel Cromo (+)	Cobre Níquel (+)	0 a 870°C	Podem ser usados em atmosferas oxidantes e inertes. Em ambientes redutores ou vácuo perdem suas características termoeletrônicas. Adequado para o uso em temperaturas abaixo de zero grau.	1) Baixa estabilidade em atmosfera redutora.
K	Chromel (+)	Alumel (+)	0 a 1200°C	Recomendável em atmosferas oxidantes ou inertes. Ocasionalmente podem ser usados abaixo de zero grau. Não devem ser utilizados em atmosferas sulfurosas. Seu uso no vácuo é por curto período de tempo.	1) Vulnerável em atmosfera sulfurosa e gases como SO ₂ e H ₂ S1 requerendo substancial proteção quando utilizado nessas condições.
S	Platina 90% 10% Rhódio (+)	Platina 100% (-)	0 a 1600°C	Recomendável em atmosferas oxidantes ou inertes. Não devem ser usados abaixo de zero grau no vácuo, em atmosferas redutoras ou atmosferas com vapores metálicos. Apresenta boa precisão em temperaturas elevadas.	1) Vulnerável a contaminação em atmosferas que não sejam oxidantes. 2) Para altas temperaturas, utilizar isoladores e tubos de proteção de alta alumina.

Efeito Termelétrico

R	Platina 87% 13% Rhódio (+)	Platina 100% (-)	0 a 1600°C	Recomendável em atmosferas oxidantes ou inertes. Não devem ser usados abaixo de zero grau no vácuo, em atmosferas redutoras ou atmosferas com vapores metálicos. Apresenta boa precisão em temperaturas elevadas.	1) Vulnerável a contaminação em atmosferas que não sejam oxidantes. 2) Para altas temperaturas, utilizar isoladores e tubos de proteção de alta alumina.
B	Platina 70% 30% Rhódio (+)	Platina 94% 6% Rhódio (-)	870 a 1795°C	Recomendável em atmosferas oxidantes ou inertes. Não devem ser usados no vácuo, em atmosferas com vapores metálicos. Mais adequados para altas temperaturas que os tipo S/R.	1) Vulnerável a contaminação em atmosferas que não sejam oxidantes. 2) Utilizar isoladores e tubos de proteção de alta alumina.
N	Nicrosil (+)	Nisil (-)	0 a 1260°C	Excelente resistência à oxidação até 1200°C. Curva FEM x temp. similar ao tipo K, porém possui menor potência termoeletrica. Apresenta maior estabilidade e menor drift x tempo.	1) Melhor desempenho na forma de termopar de isolamento mineral.

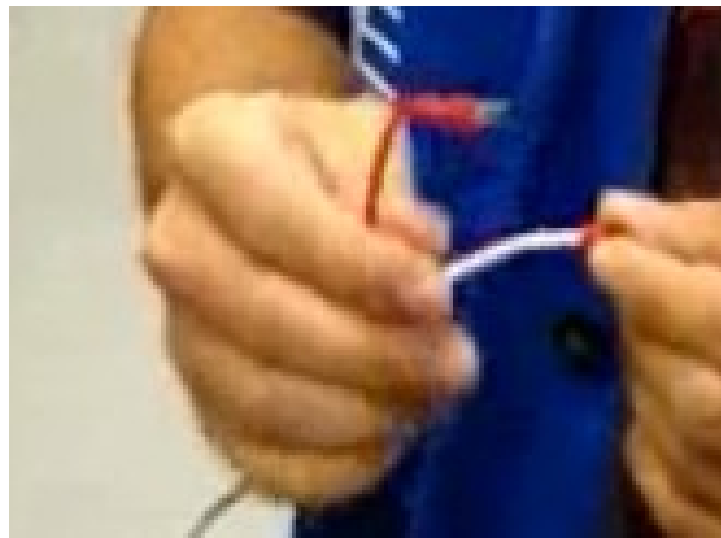
Efeito Termelétrico

Tipo K.



Efeito Termelétrico

Tipo J.



Efeito Termelétrico

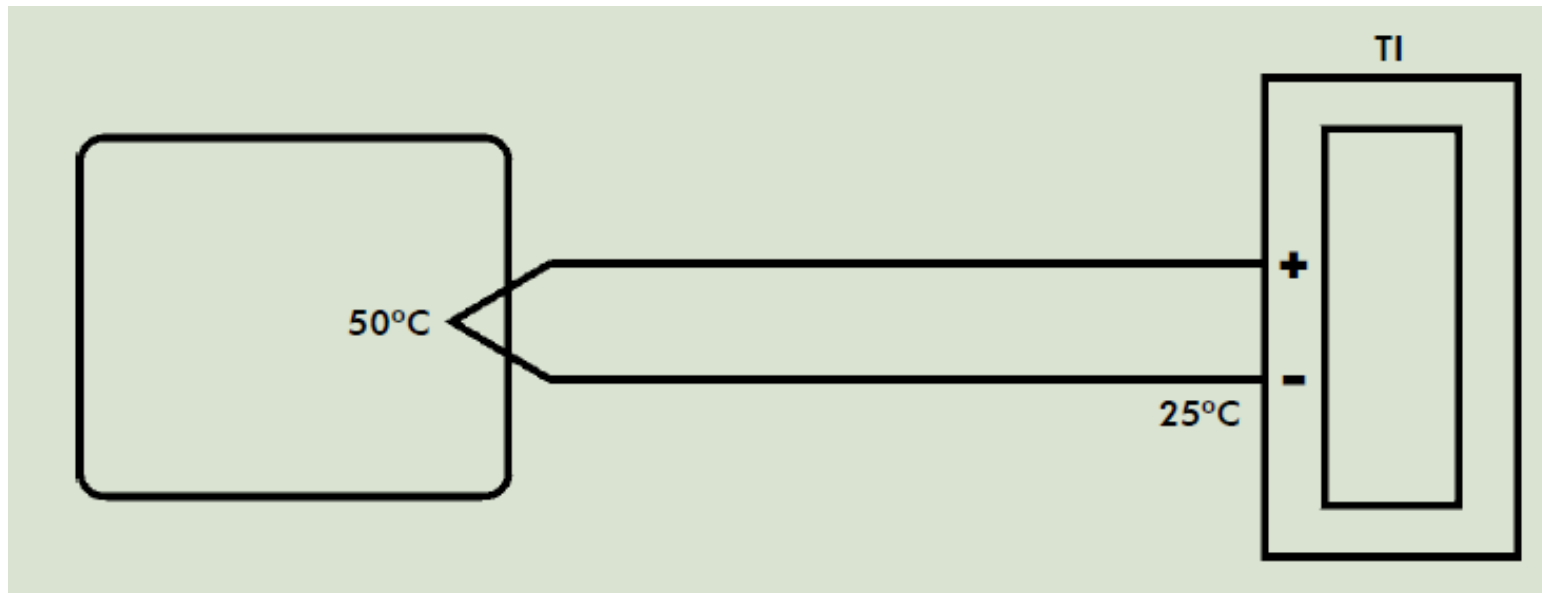


Efeito Termelétrico



Efeito Termelétrico

Correção da junta de referência
É necessária pois, o termopar mede realmente a diferença de temperatura.
Ex.:



Efeito Termelétrico

$$FEM = JM - JR$$

$$FEM = 2,25 - 1,22$$

$$FEM = 1,03 \text{ mV à } 25^{\circ}\text{C}$$

Errado!

$$FEM = \text{mV JM} - \text{mV JR} + \text{mV CA (Compensação Automática)}$$

$$FEM = 2,25 - 1,22 + 1,22$$

$$FEM = 2,25 \text{ mV} \blacktriangleright 50^{\circ}\text{C}$$

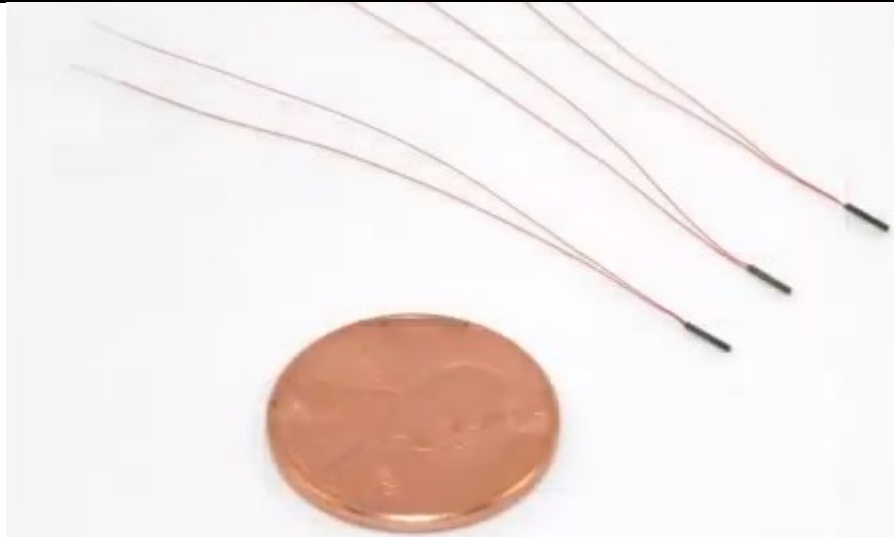
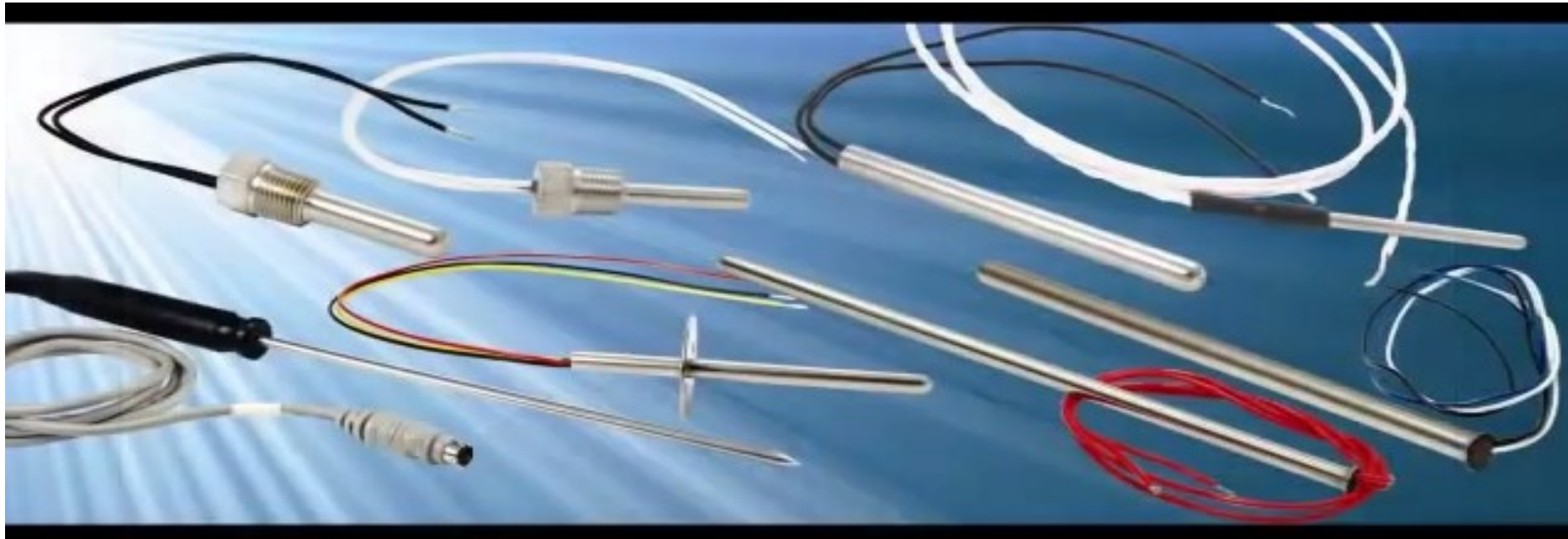
Correto!

Normalmente essa compensação é feita automaticamente no aparelho

Efeito Termelétrico

Em instrumentos compensados encontra-se um sensor de temperatura que pode ser um resistor, uma termoresistência, termistor, diodo, transistor ou mesmo um circuito integrado que mede continuamente a temperatura ambiente e suas variações, adicionando o sinal que chega do termosensor uma mV correspondente à diferença da temperatura ambiente para a

Efeito Termelétrico

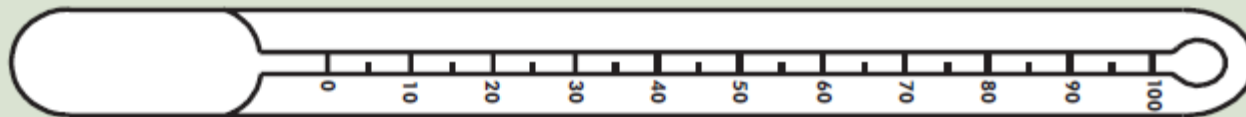
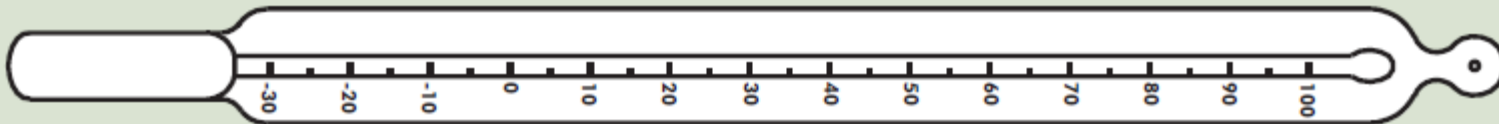
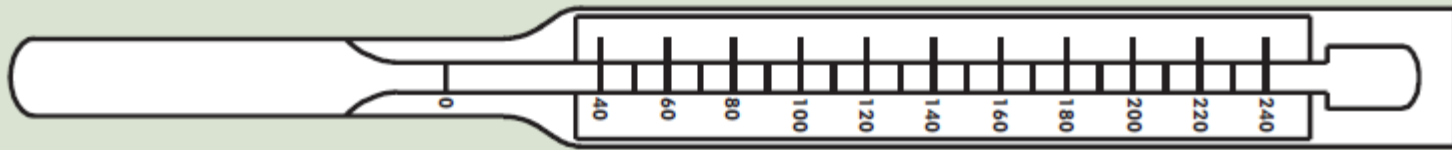


Expansão Térmica

Utiliza-se do princípio de que as dimensões de todas as substâncias (sólidas, líquidas ou gasosas) se alteram com a temperatura.

Expansão Térmica

De líquido em recipiente de vidro



Expansão Térmica

É constituído de um reservatório, cujo tamanho depende da sensibilidade desejada, soldada a um tubo capilar de seção, mais uniforme possível, fechado na parte superior.

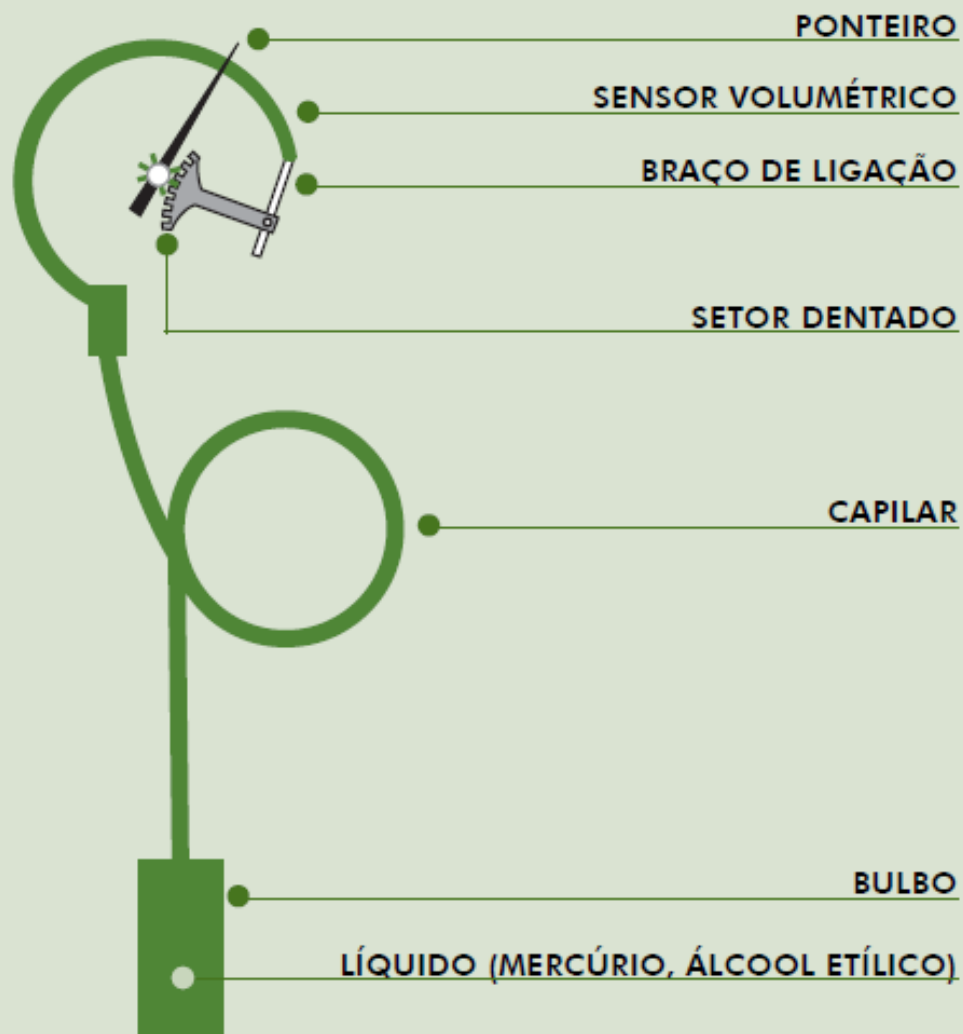
O reservatório e parte do capilar são preenchidos por um líquido específico. A medição de temperatura se faz pela leitura da escala no ponto em que se tem o topo da coluna líquida.

Expansão Térmica

LÍQUIDO	PONTO DE SOLIDIFICAÇÃO (°C)	PONTO DE EBULIÇÃO (°C)	FAIXA DE USO (°C)
Mercúrio	-39	+357	-38 a 350
Álcool etílico	-115	+78	-100 a 70
Tolueno	-92	+110	-80 a 100

Expansão Térmica

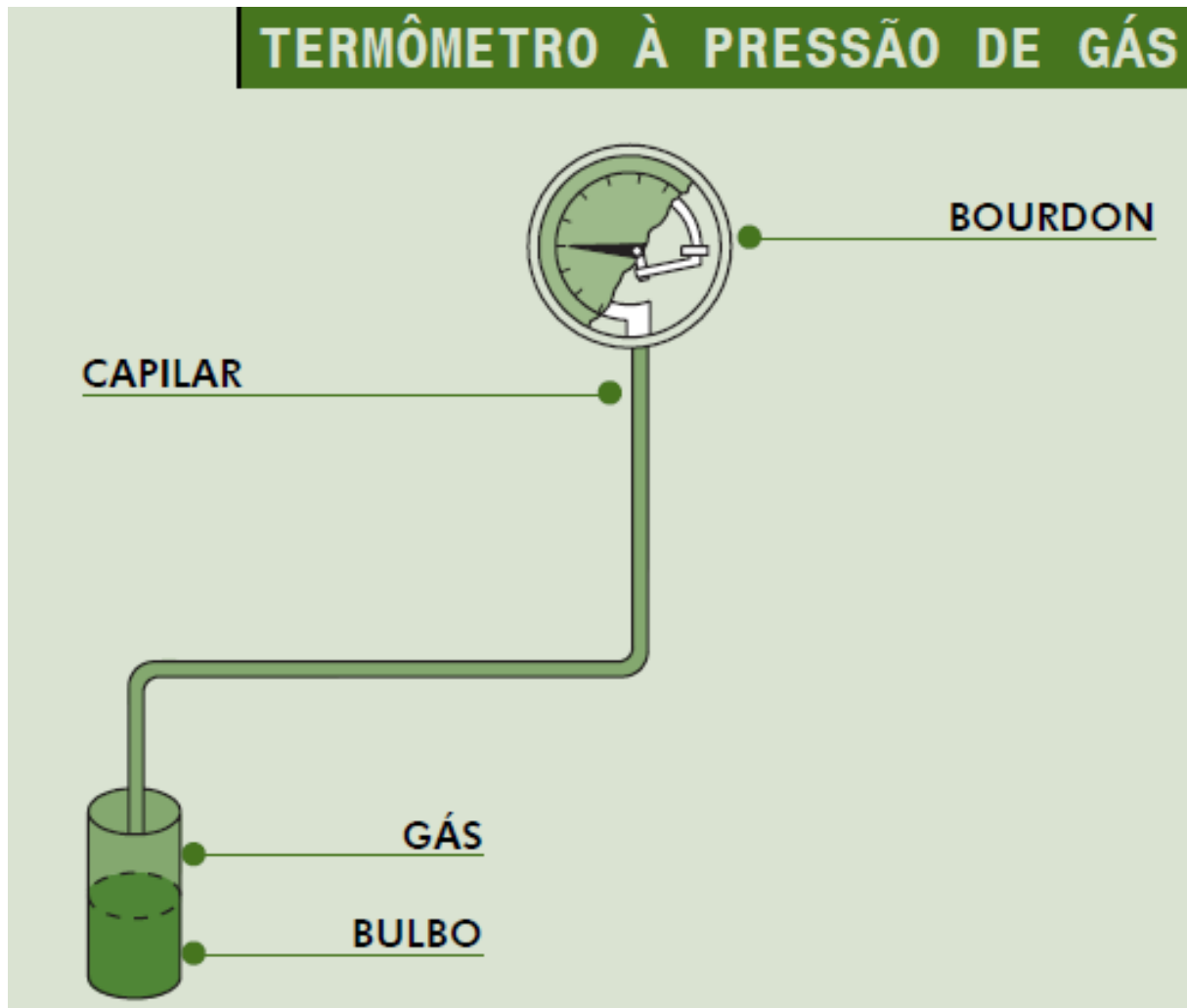
**De líquido
em recipiente
metálico**



Expansão Térmica

Neste termômetro, o líquido preenche todo o recipiente e, sob o efeito de um aumento de temperatura, se dilata, deformando um elemento extensível (sensor volumétrico).

Expansão Térmica



Expansão Térmica

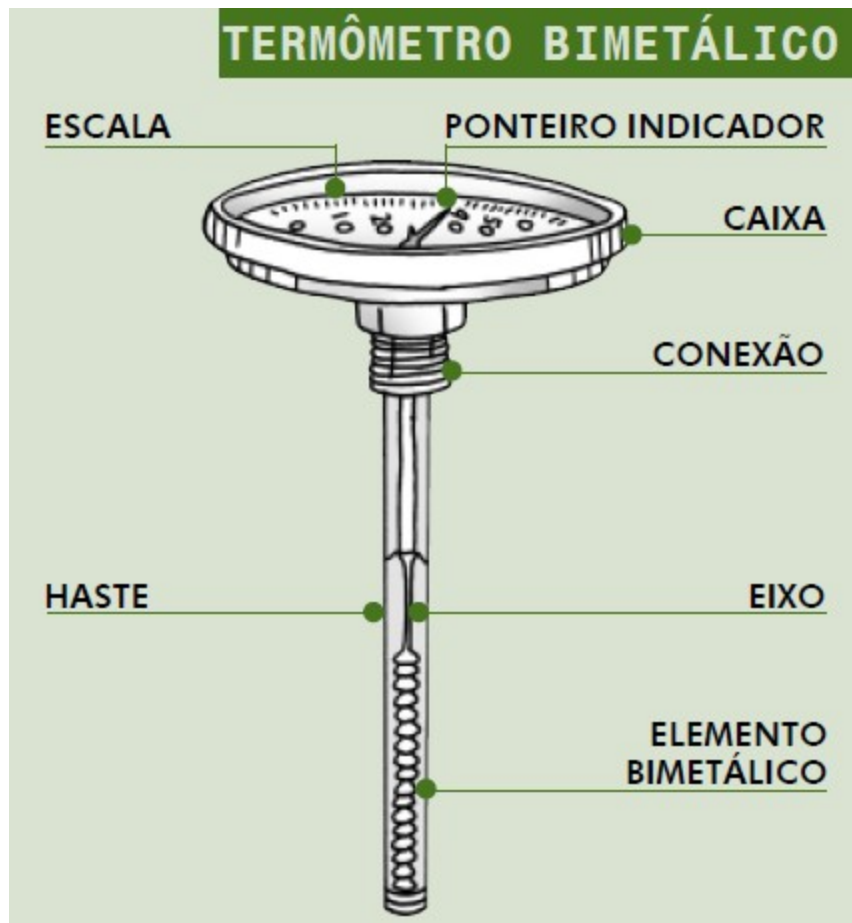
Com a variação da temperatura, o gás varia sua pressão, conforme aproximadamente a lei dos gases perfeitos, com o elemento de medição operando como medidor de pressão. Observa-se que as variações de pressão são linearmente dependentes da temperatura, sendo o volume constante. (Tubo de Bourdon)

Expansão Térmica

O termômetro bimetálico consiste em duas lâminas de metais com coeficientes de dilatação diferentes sobrepostas, formando uma só peça. Variando-se a temperatura do conjunto, observa-se um encurvamento que é proporcional à temperatura.

A faixa de trabalho dos termômetros bimetálicos vai aproximadamente de -50°C a 800°C , sendo sua escala bastante linear. Possui precisão na ordem de $\pm 1\%$.

Expansão Térmica

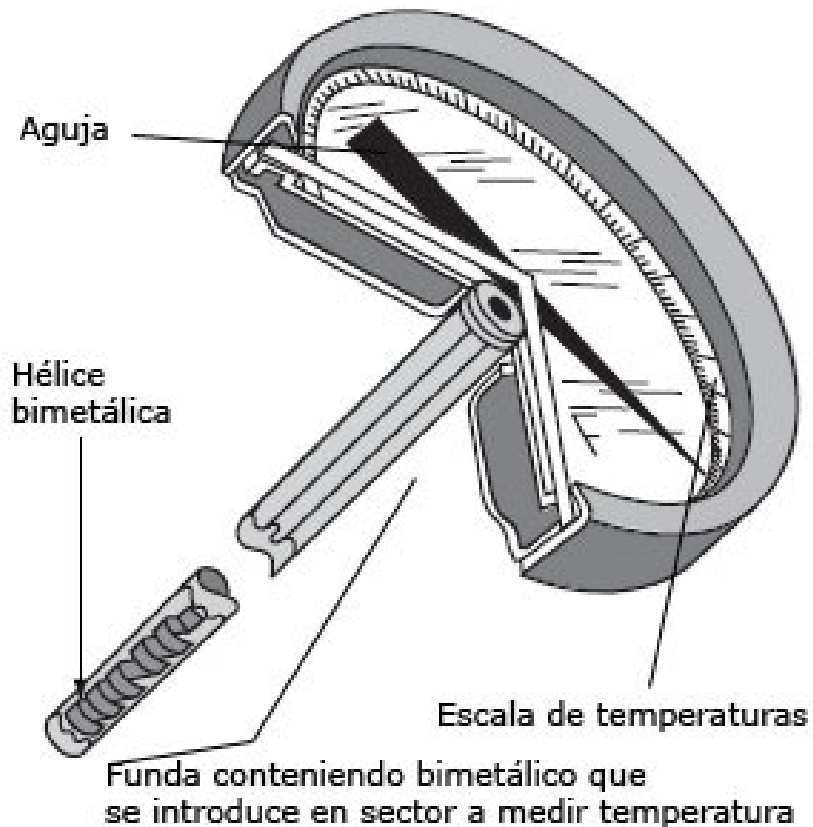


Termômetro de lâmina helicoidal, que consiste em um tubo bom condutor de calor, no interior do qual é fixado um eixo. Este eixo helicoidal, por sua vez, recebe um ponteiro que se desloca sobre uma escala.

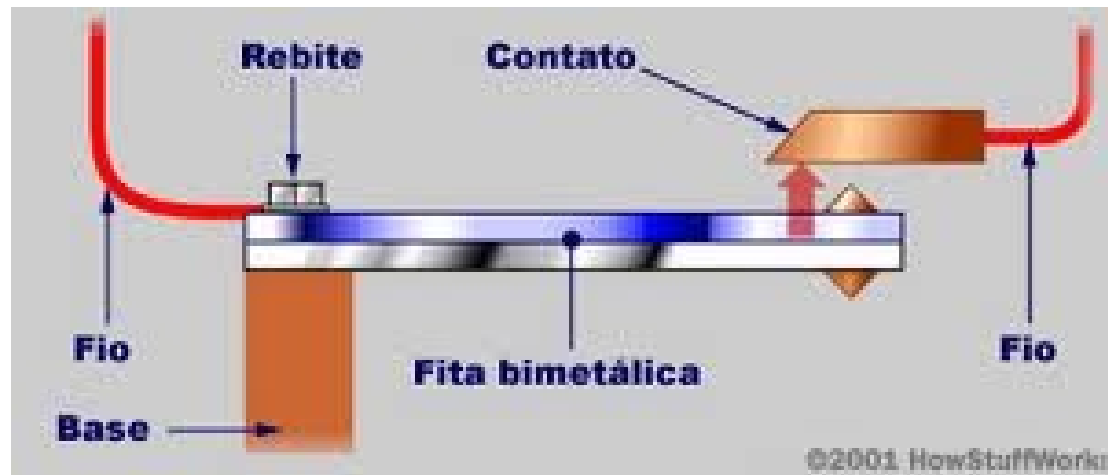
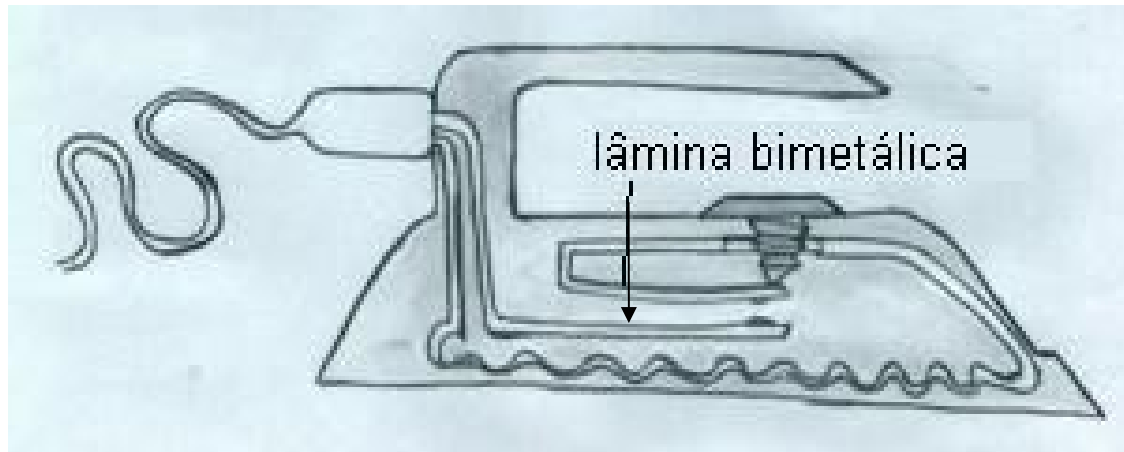
Expansão Térmica

Utiliza-se do princípio de que as dimensões de todas as substâncias (sólidas, líquidas ou gasosas) se alteram com a temperatura.

Expansão Térmica



Expansão Térmica



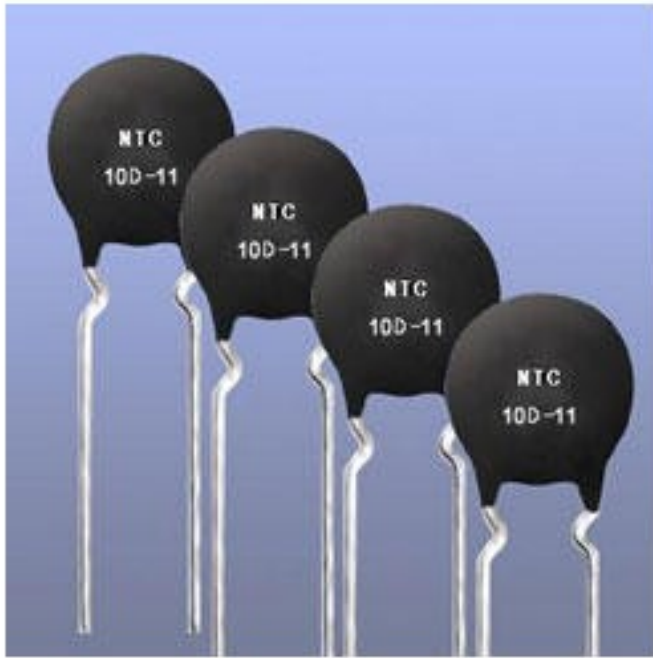
Termistores

- Termistores são **semicondutores**;
- Variação proporcional ou inversamente proporcional da resistência com a temperatura;
- **NTC** (Negative Temperature Coefficient):
óxidos metálicos;
- **PTC** (Positive Temperature Coefficient):
titanato de bário ;
- Não polarizados;
- Outras Composições: misturas semicondutoras, como o manganésio, níquel, cobalto, cobre, ferro, titânio.

Algumas Aplicações

- Termômetros;
- Detector de incêndio;
- Detectores Térmicos;
- Área Automotiva;
- Área de refrigeração;
- Equipamentos Médicos e Hospitalares;
- Equipamento Laboratorial;
- Etc.

Termistores



NTC



PTC

Termistores



Termorresistência

Também conhecido como RTD: *Resistance Temperature Detector*.

Trata-se do uso da relação da variação da resistência eléctrica de um material com a temperatura. **Sua resistência aumenta com o aumento da temperatura.**

Comumente são constituídas de materiais **condutores** como a platina ou níquel.

O material é o que os distingue dos termistores.

Termorresistência

Seu elemento sensor consiste de uma resistência em forma de fio de platina de alta pureza, ou de níquel ou de cobre (menos usado), encapsulado num bulbo de cerâmica ou vidro.

vantagens: a sua elevada exatidão, uma vasta gama de medida, uma curva de resistência x temperatura mais linear que outros tipos de sensores.

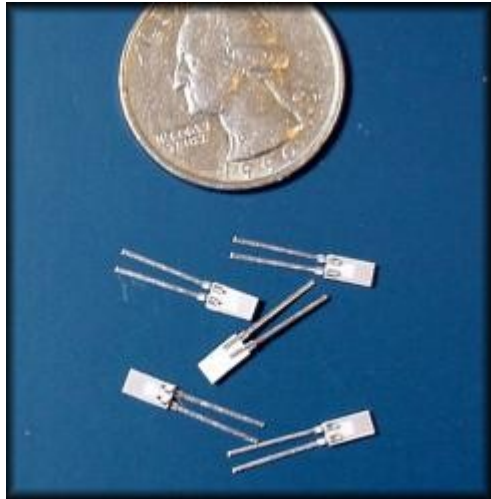
Termorresistência

desvantagens :sua fragilidade, seu elevado tempo de resposta se comparado ao termopar, bem como o fato de a sua utilização requerer alguns cuidados para evitar auto aquecimento e perda de precisão devido ao formato e não homogeneização do calor no bulbo.

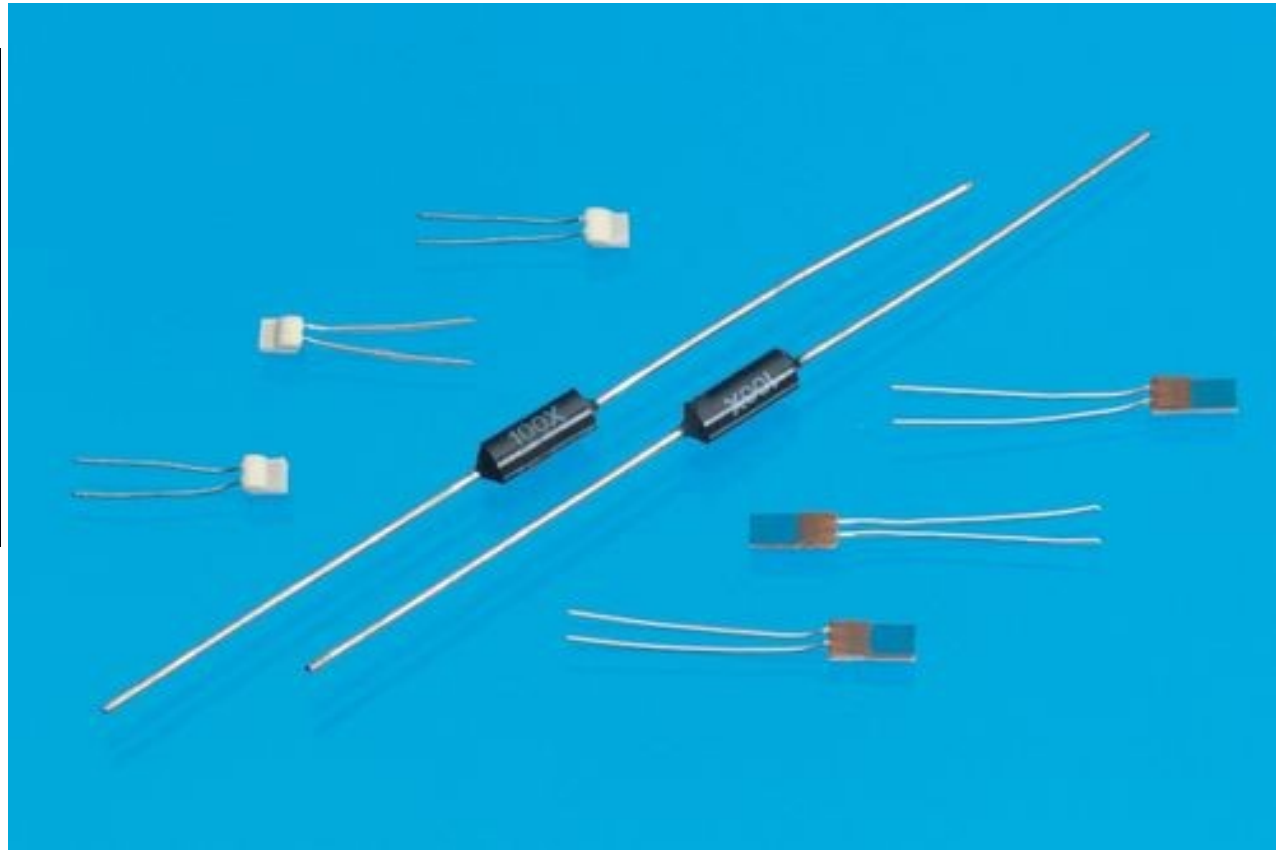
O PT-100 (de platina) apresenta uma resistência de $100\ \Omega$ a $0\ ^\circ\text{C}$.

O NI-500 (de níquel) apresenta uma resistência de $500\ \Omega$ a $0\ ^\circ\text{C}$.

Termorresistência

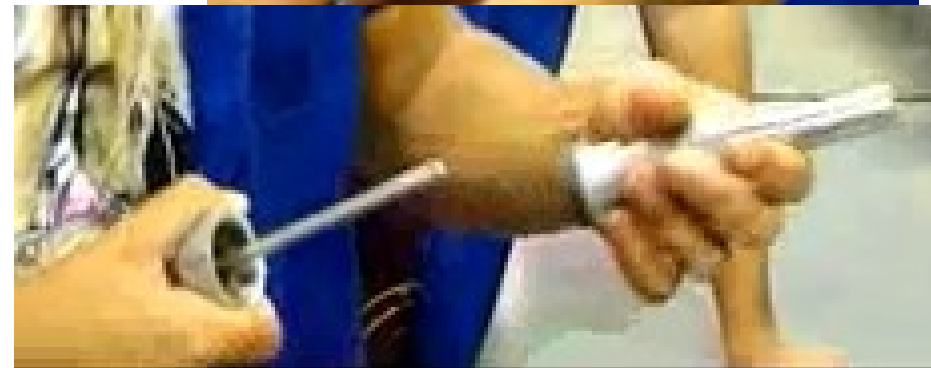


RTD de Platina
1000 Ohms a 0°C
Range: -50°C to
+250°C



-200 - 600 °C
0.1 - 1 kΩ

PT 100



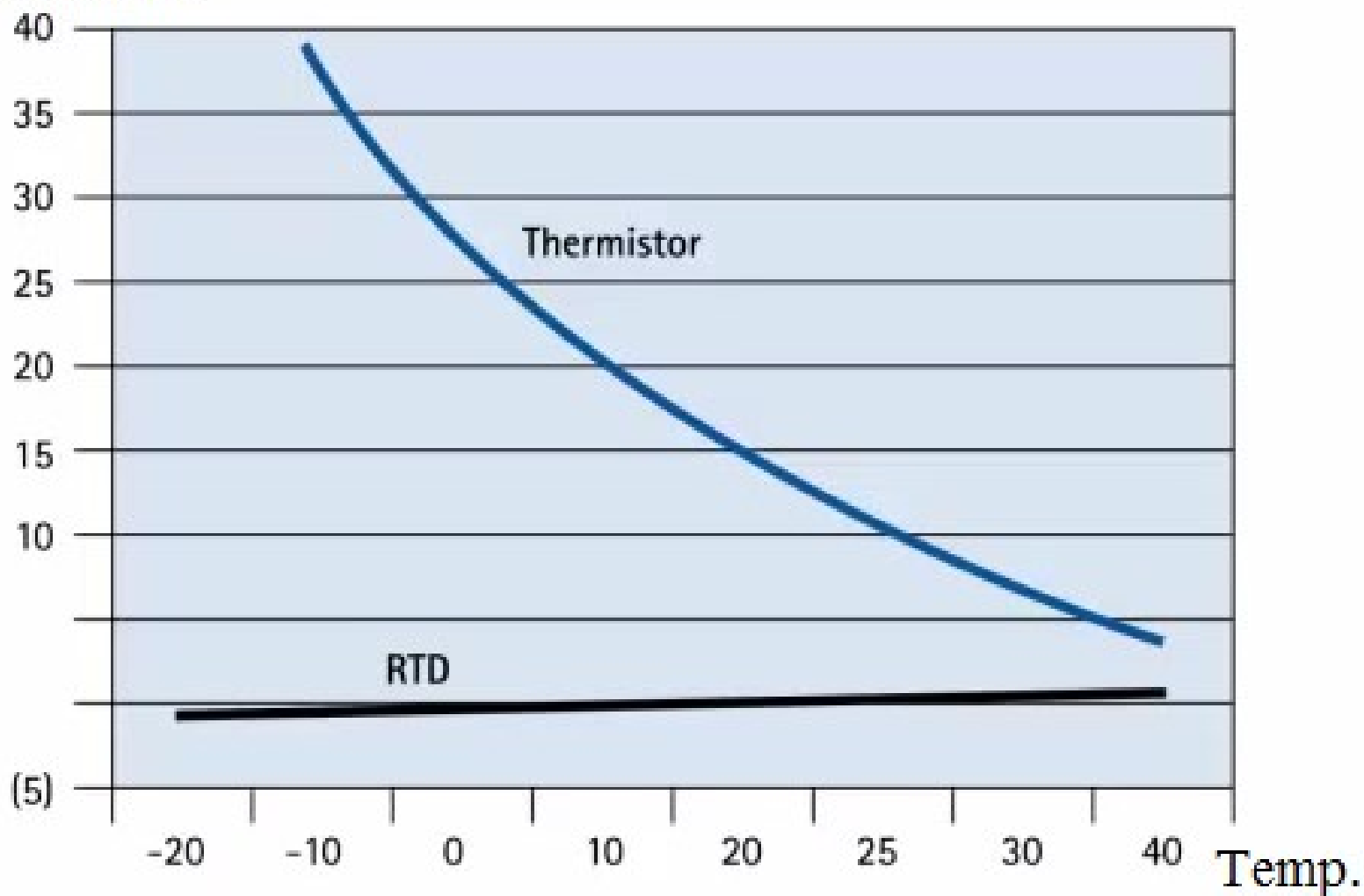
PT 100

100 Ω para 0 °C. Faixa de trabalho de -200 a 650 °C. Ligação a 2, 3 e 4 fios.



Comparação

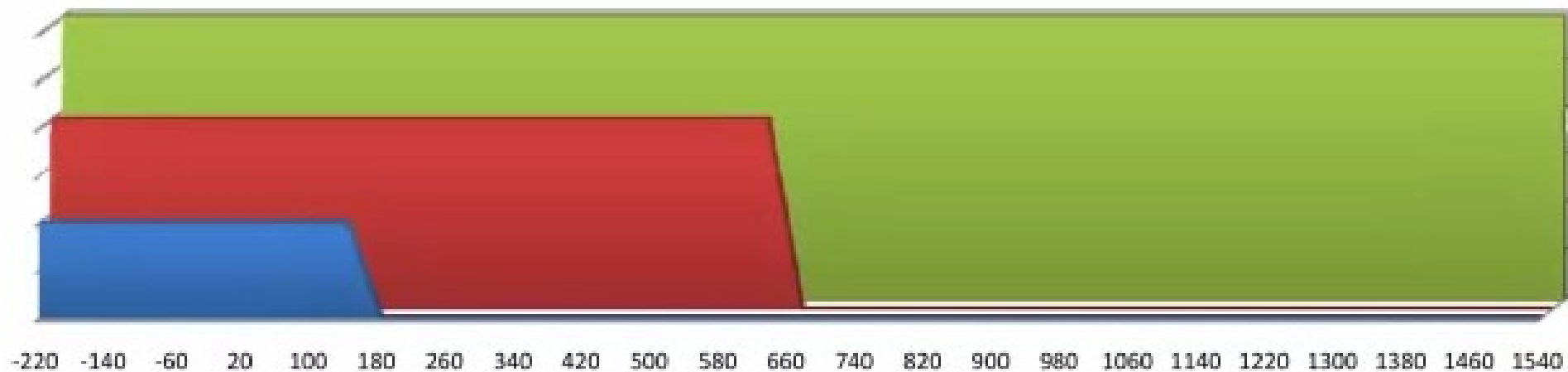
Resistência



Comparação

Temperature Range by Sensor

■ Thermistor ■ RTD ■ Thermcouple



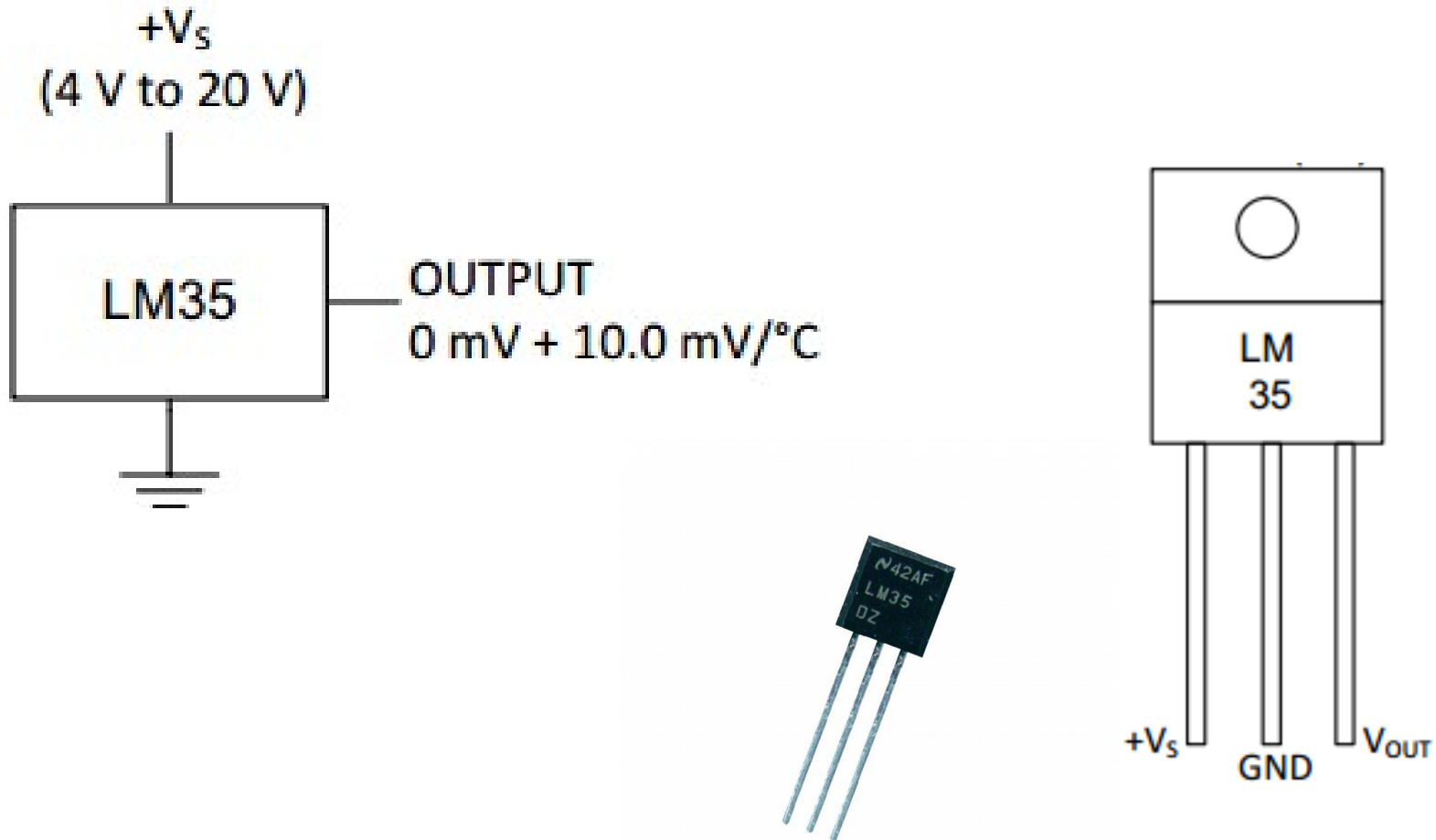
Termômetros Semicondutores

Trata-se de dispositivos semicondutores sensíveis à temperatura.

O LM35 é um circuito integrado (CI) cuja tensão de saída é linearmente proporcional à temperatura em graus centígrados. Opera entre -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$.

É barato!

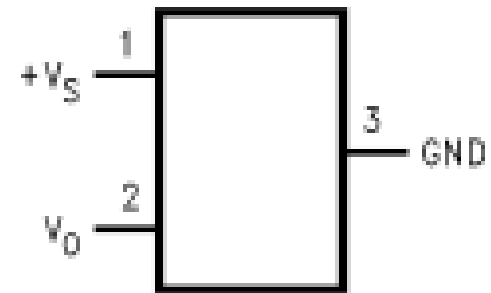
Termômetros Semicondutores



Termômetros Semicondutores

LM45

Opera de -20° a $+100^{\circ}\text{C}$

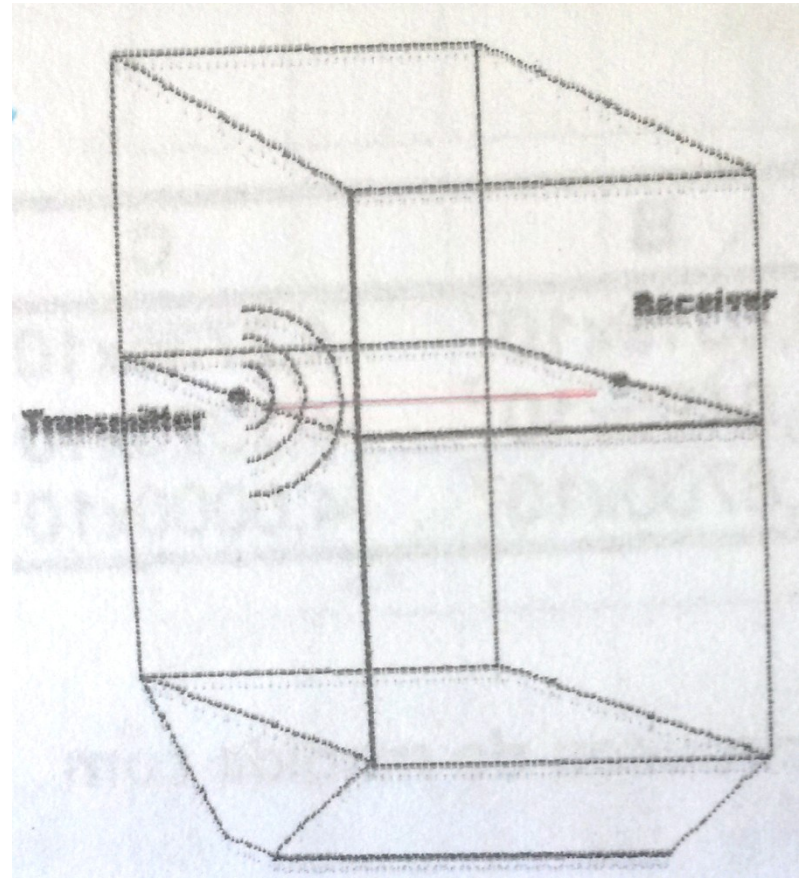


Termômetro Acústico

- Aproveitam-se do fato de que a velocidade do som é dependente da temperatura do meio.

A velocidade do som v , é relacionada a temperatura de um gás por meio da

expressão:
$$v = \sqrt{\frac{\alpha RT}{M}}$$



Termômetro Acústico

- Onde:

α = calor específico do gás a uma pressão constante e a um volume constante.

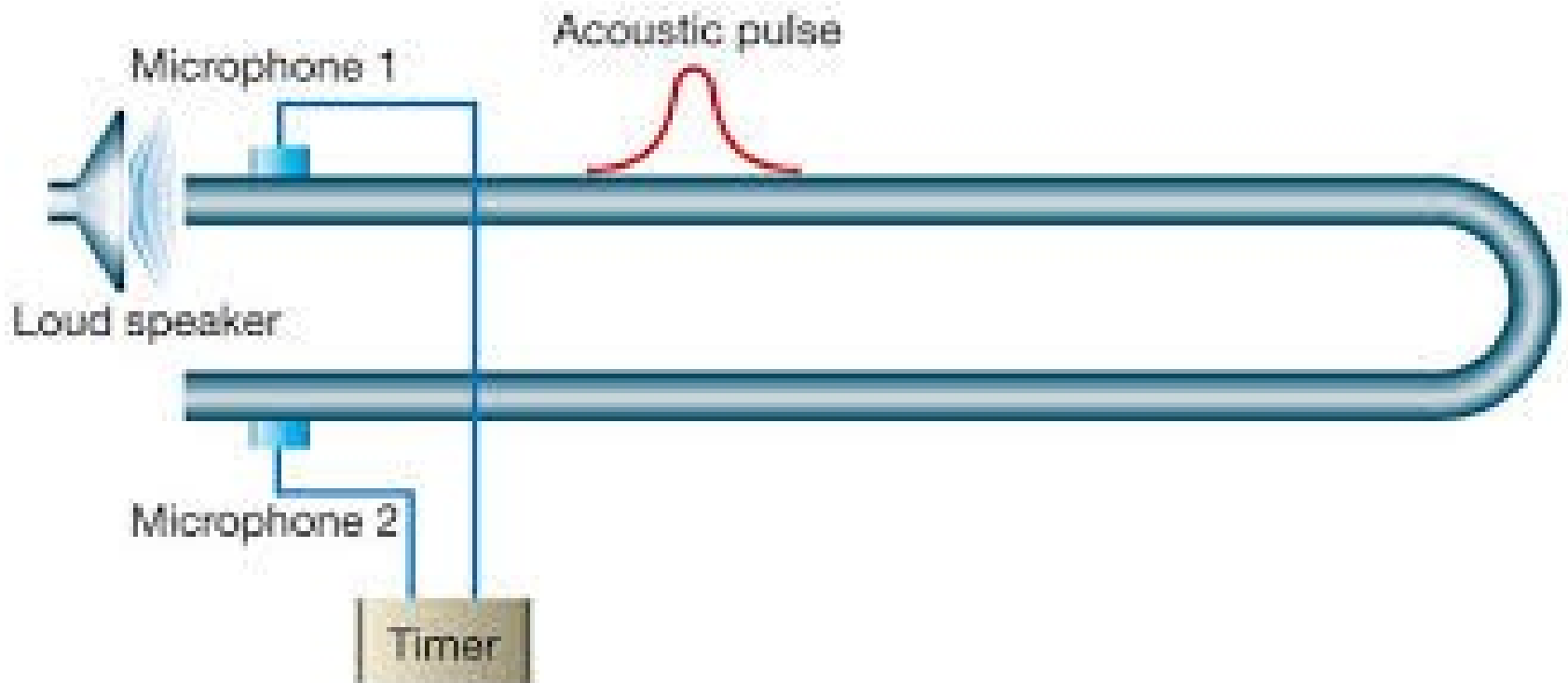
R = constante universal dos gases (8,314 J/Kmol).

T = temperatura em Kelvin.

M = massa molecular do gás (kg/mol).

v = velocidade do som (m/s).

Termômetro Acústico



Termômetros de radiação

Um termômetro de radiação é o **Pirômetro de Radiação**.

Ele é um tipo de medidor de temperatura sem contato com o meio ou material cuja temperatura se deseja medir.

Termômetros de radiação são úteis na indústria onde são usados em áreas como a farmacêutica, química, manutenção automóvel, alimentar, metalúrgica, plásticos, pasta e papel, cimento, cerâmica, ar condicionado e semicondutores.

Termômetros de radiação

Esses pirômetros utilizam semicondutores detectores de fótons sensíveis ao comprimento de onda do espectro de radiação infravermelho.

As faixas de medição estão entre 35 °C a 1800 °C



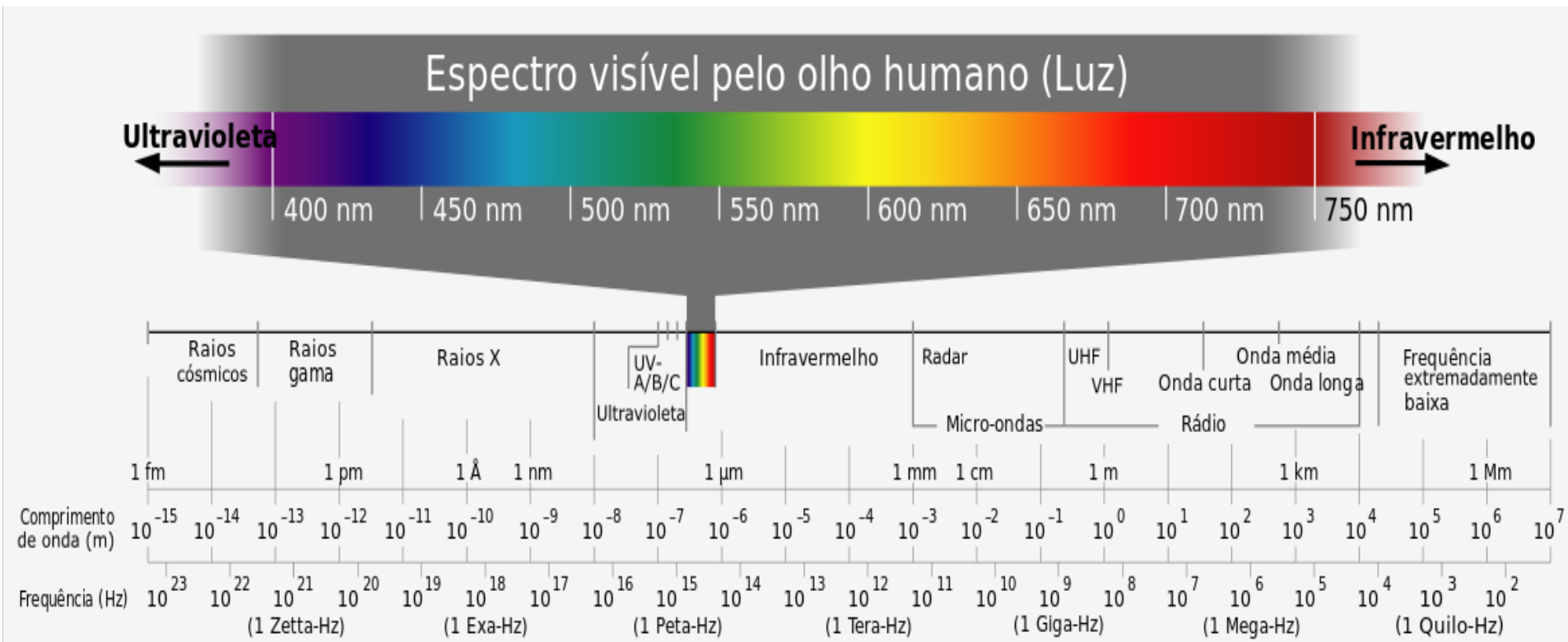
Termômetros de radiação

Todos os corpos com temperatura superior a 0K emitem energia. A energia emitida aumenta à medida que a temperatura do objeto aumenta. Assim, pode-se fazer medições de temperatura a partir de medições da energia emitida, particularmente se essa energia for infravermelha ou visível.

Termômetros de radiação

- Os vários tipos de energia radiada podem ser caracterizados pela frequência (f) ou comprimento de onda (λ). Assim, a zona do visível abrange comprimentos de onda compreendidos entre $0,4\mu\text{m}$ e $0,7\mu\text{m}$, e os infravermelhos (IV) entre $0,7\mu\text{m}$ e $20\mu\text{m}$. Na prática, o pirômetro de IV comum usa a banda entre $5\mu\text{m}$ e $20\mu\text{m}$.

Termômetros de radiação



Termômetros de radiação

Um conceito importante é a emissividade (E): é o quociente entre a energia que um corpo radia a uma dada temperatura por unidade de área e de tempo (emitância - W.m^{-2}) e a energia que o corpo negro radia a essa mesma temperatura. O corpo negro é um corpo ideal que absorveria toda a radiação nele incidente possuindo a maior emitância entre todos. Assim, para corpos reais, a emissividade está compreendida entre 0 e 1. **A emissividade mede a capacidade de um corpo emitir energia.**

$$\epsilon_T = \frac{E}{E_b}$$

Termômetros de radiação

A emissividade de vários materiais já se encontra tabelada com valores fixos.

Se um sensor de radiação tiver sido calibrado contra um corpo negro, o conhecimento do valor correto da emissividade do corpo não-negro cuja temperatura se quer medir permite o cálculo da sua emitância total e, portanto, da sua temperatura:

$$\varepsilon = \frac{E}{\sigma T^4} \qquad T = \left(\frac{E}{\varepsilon \sigma} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\sigma = 5,669 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{.K}^4\text{]} \equiv \textit{constante de Stefan-Boltzmann}$$

A função do sensor de radiação é medir o E (emitância).

Termômetros de radiação

Outro medidor de temperatura por radiação é o **Imageador Termal Infravermelho (Câmera Térmica)**. Seu princípio de funcionamento é semelhante ao do pirômetro de radiação.

Trata-se de um dispositivo capaz de coletar, detectar e traduzir a radiação infravermelha termal emitida pelos alvos, sob a plataforma na qual está instalado e gerar uma imagem térmica correspondente.

Termômetros de radiação

Tem-se uma câmera com sensor de radiação infravermelha acoplada eletronicamente a um visor que gera imagem na faixa visível do espectro eletromagnético. Em específico, no caso dos óculos, há uma ou duas câmeras e visores semelhantes.

Termômetros de radiação



Termômetros de radiação

