

# Temperatura

## Termometria

### Introdução

Termometria significa "*Medição de Temperatura*", é o termo mais abrangente que inclui tanto a pirometria como a criometria que são casos particulares de medição.

**Pirometria** - Medição de altas temperaturas, na faixa onde os efeitos de radiação térmica passam a se manifestar.

**Criometria** - Medição de baixas temperaturas, ou seja, aquelas próximas ao zero absoluto de temperatura.

### Temperatura na Indústria

A temperatura é uma das variáveis mais importantes na indústria de processamento. Praticamente todas características físico-químicas de qualquer substância alteram-se de uma forma bem definida com a temperatura.

Exemplificando:-

- Dimensões (Comprimento, Volume).
- Estado Físico (Sólido, Líquido, Gás).
- Densidade.
- Viscosidade.
- Radiação Térmica.
- Reatividade Química.
- Condutividade.
- PH.
- Resistência Mecânica.
- Maleabilidade, Ductilidade.

Assim, qualquer que seja o tipo de processo, a temperatura afeta diretamente o seu comportamento provocando por exemplo:-

- Uma aceleração ou desaceleração do ritmo de produção.
- Uma mudança na qualidade do produto.
- Um aumento ou diminuição na segurança do equipamento e/ou pessoal.
- Um maior ou menor consumo de energia.

### **Conceito de Temperatura**

Temperatura é uma propriedade da matéria, relacionada com o movimento de vibração e/ou deslocamento dos átomos de um corpo. Todas as substâncias são constituídas de átomos que por sua vez, se compõe de um núcleo e um envoltório de elétrons. Normalmente estes átomos possuem uma certa energia cinética que se traduz na forma de vibração ou mesmo deslocamento como no caso de líquidos e gases.

Baseado nesta conceituação, pode-se definir a temperatura da seguinte forma:

*"Temperatura é a propriedade da matéria que reflete a **média da energia cinética** dos átomos de um corpo".*

Na prática, a temperatura é representada em uma escala numérica, onde, quanto maior o seu valor, maior é a energia cinética média dos átomos do corpo em questão.

Outros conceitos que se confundem às vezes com o de temperatura são:

- Energia Térmica.
- Calor.

A Energia Térmica de um corpo é a somatória das energias cinéticas dos seus átomos, e além de depender da temperatura, depende também da massa e do tipo de substância.

O Calor é a energia que se transfere de um corpo para o outro por diferença de temperatura.

A temperatura sob ponto de vista da experiência do homem no seu cotidiano, introduz o uso dos termos quente e frio. A sensação de quente é o resultado do fluxo de calor de um corpo qualquer para o nosso próprio, decorrente de uma maior temperatura daquele corpo.

### **Formas de transferência de calor**

### **Condução (sólidos):**

Transferência de calor por contato físico. Um exemplo típico é o aquecimento de uma barra de metal.

### **Convecção (líquidos e gases):**

Transmissão ou transferência de calor de um lugar para o outro pelo deslocamento de material.

Convecção forçada, quando o material aquecido é forçado a se mover.

Convecção natural ou livre, quando o material aquecido se move por diferença de densidade.

### **Radiação (sem contato físico):**

Emissão contínua de energia de um corpo para outro, através do vácuo ou do ar (melhor no vácuo que no ar, pois no ar é parcialmente absorvida). A energia radiante possui a forma de ondas eletromagnéticas e propagam-se com a velocidade da luz.

## **Escalas de Temperatura - Relativas**

As escalas de maior utilização na indústria são :

### **CELSIUS**

A identificação de uma temperatura na escala Celsius é feita com o símbolo "°C" colocado após o número (Ex.: 160°C).

A escala Celsius é definida atualmente com o valor zero no ponto de fusão do gelo e 100 no ponto de ebulição da água. O intervalo entre os dois pontos está dividido em 100 partes iguais, e cada parte é um grau Celsius. A denominação "grau centígrado" utilizada anteriormente no lugar de "Grau Celsius", não é mais recomendada.

### **FAHRENHEIT**

A identificação de uma temperatura na escala Fahrenheit é feita com o símbolo "°F" colocado após o número (Ex. 250°F)

Historicamente ela foi definida a partir de 3 pontos de referência 0, 48 e 96, estes números representavam o seguinte:- "... 48 foi definida como sendo o meio entre o frio mais intenso produzido artificialmente por uma mistura de água, gelo e sal-amoníaco, ou mesmo sal comum, e aquela (Temperatura) que é encontrada no sangue de um homem saudável..."

Fahrenheit encontrou que na sua escala o ponto de fusão do gelo valia 32 e o de ebulição da água 212 aproximadamente.

Estes pontos, posteriormente foram considerados mais reprodutíveis e passaram a ser definidos como exatos e adotados como referência.

Existe uma outra escala relativa, a Reaumur, hoje já praticamente em desuso. Esta escala adota como zero o ponto de fusão do gelo e 80 o ponto de ebulição da água. O intervalo é dividido em oitenta partes iguais. (Representação - °Re).

### **Escala de Temperatura - Absolutas**

Tanto a escala Celsius como a Fahrenheit, são relativas, ou seja, os seus valores numéricos de referência são totalmente arbitrários. Existe entretanto escalas absolutas de temperatura, assim chamadas porque o zero delas é fixado no ponto teórico onde a temperatura atinge o seu valor mínimo, no ponto onde a energia cinética dos átomos se anula.

Se abaixarmos a temperatura continuamente de uma substância, atingimos um ponto limite além do qual é impossível ultrapassar, pela própria definição de temperatura. Este ponto, onde cessa praticamente o movimento atômico, é o zero absoluto de temperatura.

**Zero absoluto:** - é o estado em que praticamente cessa o movimento atômico.

Existem duas escalas absolutas atualmente em uso :

- Kelvin
- Rankine.

As escalas absolutas atribuem o valor zero à temperatura mais baixa possível.

A escala Kelvin possui a graduação igual a da Celsius, portanto:-

$$0\text{ K} = -273,15^{\circ}\text{C} \text{ e } 0\text{ R} = 273,15^{\circ}\text{C}$$

A escala Rankine possui a graduação igual a da Fahrenheit, portanto:-

$$0\text{ K} = -459,67^{\circ}\text{F} \text{ e } 0\text{ R} = 459,67^{\circ}\text{F}.$$

É evidente que uma escala absoluta não pode ter temperaturas negativas.

**A Escala Kelvin** possui a mesma divisão da Celsius, isto é, um grau Kelvin é igual à um grau Celsius, porém o seu zero se inicia no ponto de temperatura mais baixa possível, 273,15 graus abaixo do zero da Escala Celsius.

**A Escala Rankine** possui obviamente o mesmo zero da escala Kelvin, porém sua divisão é idêntica à da Escala Fahrenheit.

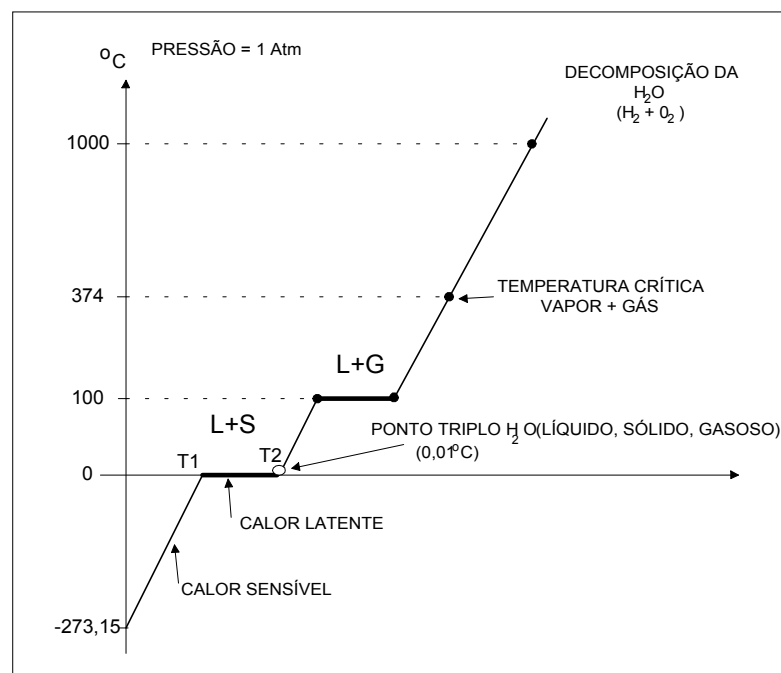
A representação das escalas absolutas é análoga às escalas relativas, sem o símbolo de grau "°".

Exemplo: Kelvin → 400K ; Rankine → 785 R.

### Pontos fixos de temperatura

A temperatura interna do corpo humano pode ser considerada como um ponto fixo de temperatura. Entretanto esta temperatura é afetada por vários fatores que diminuem a precisão deste padrão.

A mudança de estado de substâncias puras (fusão, ebulição) é normalmente desenvolvida sem alteração na temperatura. Todo calor recebido ou cedido pela substância é utilizado pelo mecanismo de mudança de estado.



**Calor sensível:** - é a quantidade de calor necessária para que uma substância mude a sua temperatura até que comece a sua mudança de estado, onde teremos o calor latente.

**Calor latente:** - a quantidade de calor que uma substância troca por grama durante a mudança de estado.

### **PONTOS FIXOS - PADRÃO**

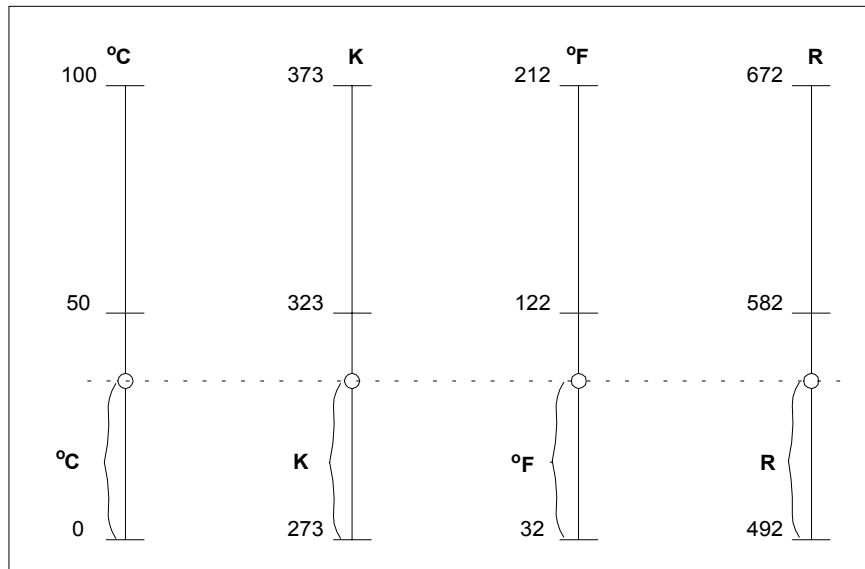
A mistura de duas ou três fases (Vapor, Líquido e Sólido) em equilíbrio, gera o que se convencionou chamar de "Ponto Fixo de Temperatura".

Visando uma simplificação nos processos de calibração, a Comissão Internacional de Pesos e Medidas, relacionou uma série de pontos fixos secundários de temperatura, conforme mostrado na Tabela abaixo.

PONTOS FIXOS	TEMPERATURA(°C)
Ponto de Ebulição do Nitrogênio	-195,798
Ponto triplo do Hélio	-259,3467
Ponto triplo da água	0,010
Ponto de Solidificação do Estanho	231,928
Ponto de Solidificação do Alumínio	660,323
Ponto de Ebulição do Oxigênio	-182,954
Ponto de Solidificação da Prata	961,78
Ponto de Solidificação do Cobre	1084.62
Ponto de Solidificação da Platina	1064,180

**Relações Básicas**

Podemos retirar algumas relações básicas entre as escalas a partir da figura abaixo:

**CONVERSÃO DE ESCALAS**

• CELSIUS X FAHRENHEIT

→

$$\frac{^{\circ}\text{C}}{5} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{9}$$

• CELSIUS X KELVIN

→

$$\text{K} = 273,15 + ^{\circ}\text{C}$$

• FAHRENHEIT X RANKINE

→

$$\text{R} = 459,67 + ^{\circ}\text{F}$$

• KELVIN X RANKINE

→

$$\text{K} = \frac{^{\circ}\text{R} \cdot 5}{9}$$

# Medidores de Temperatura

Os instrumentos de medida da temperatura podem ser divididos em duas grandes classes:

## **1ª Classe**

Compreende os instrumentos naqueles em que o elemento sensível está em contato com o corpo cuja temperatura se quer medir. São eles:

Termômetros à dilatação volumétrica ( sólido, líquido, gasoso )

Termômetros à resistência elétrica..

Termômetros à par termo elétrico

## **2ª Classe**

Compreende os instrumentos naqueles em que o elemento sensível não está em contato com o corpo cuja temperatura se quer medir. São eles:

A) Pirômetros à radiação total.

B) Pirômetros à radiação parcial (monocromáticos).

## **Termômetros de Dilatação Volumétrica**

### **Princípio de Funcionamento**

São baseados no fenômeno de dilatação aparente de uma substância dentro de um recipiente fechado, é composto de um reservatório ligado a um capilar. Com a aplicação de calor ao bulbo, a substância se expande, subindo pelo capilar, este deslocamento é medido em uma escala graduada em temperatura.

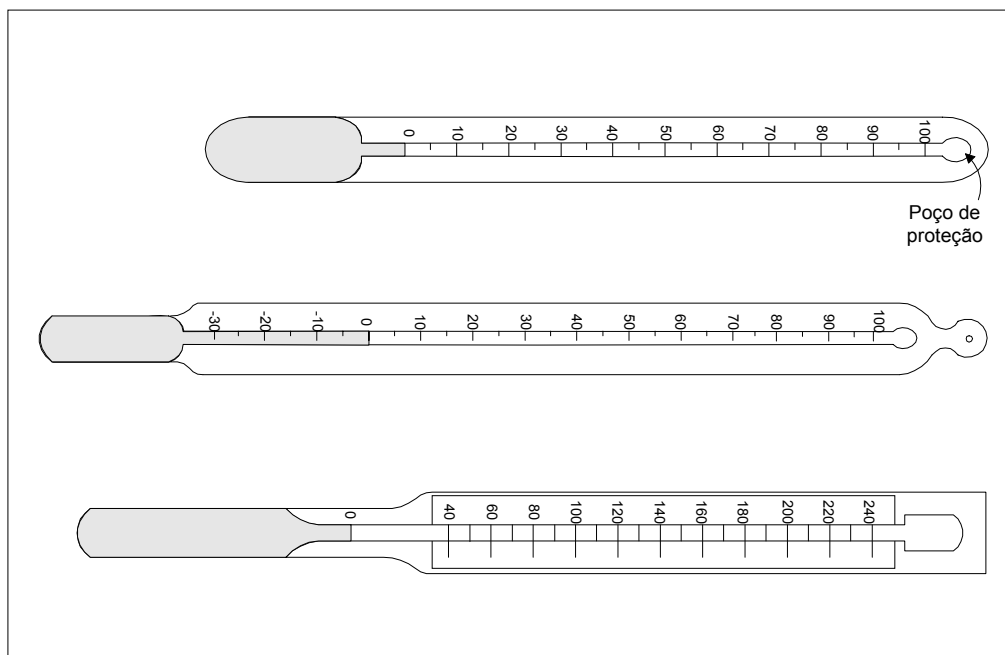


## Termômetro de Vidro

Este tipo de termômetro é muito utilizado nas indústrias, e as substâncias mais utilizadas são:

- Álcool etílico ( tingido de vermelho) para a faixa de  $-100^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}$
- Mercúrio para a faixa de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+648^{\circ}\text{C}$

O termômetro de vidro é normalmente utilizado na indústria protegido por uma carcaça metálica, que é rosqueada em poço de proteção.



## VANTAGENS E DESVANTAGENS

As vantagens são:

- boa precisão
- baixo custo
- simplicidade construtiva

Desvantagem: é muito frágil

## **Termômetros de Dilatação de Líquido de Recipiente Metálico**

### **Princípio de Funcionamento**

No termômetro de vidro, a dilatação do líquido é observada e medida diretamente através de sua parede transparente. No tipo de recipiente metálico, o líquido preenche todo o instrumento e sob o efeito de um aumento de temperatura se dilata, deformando um elemento extensível, dito sensor volumétrico. O instrumento compreende três partes:- o bulbo, o capilar e o elemento sensor.

**O Bulbo:** - é o elemento termo sensível do conjunto. Nele fica compreendido a maior parte do líquido do sistema. Deverá ficar em contato o mais íntimo possível com o ambiente onde se quer avaliar a temperatura.

**O Capilar:** - é o elemento de ligação entre o bulbo e o sensor volumétrico. Deverá conter o mínimo de líquido possível. Em alguns casos, o capilar é substituído por um pequeno e rígido pescoço de ligação.

**O Elemento Sensor:** - ou de medição é o que mede as variações de volume do líquido encerrado no bulbo. Estas variações são sensivelmente lineares à temperatura, daí o fato da escala ser graduada linearmente, isto é, em partes iguais.

## **TERMÔMETRO DE BULBO DE PRESSÃO**

Os termômetros com bulbo de pressão, são de três tipos :

- termômetros a pressão de líquidos
- termômetros a pressão de gás
- termômetros a pressão de vapor

### **Termômetro de Dilatação de Líquido**

#### **Princípio de Funcionamento**

Fisicamente um termômetro de dilatação de líquido, consta de um bulbo, elemento de medição e capilar de ligação entre estes dois elementos.

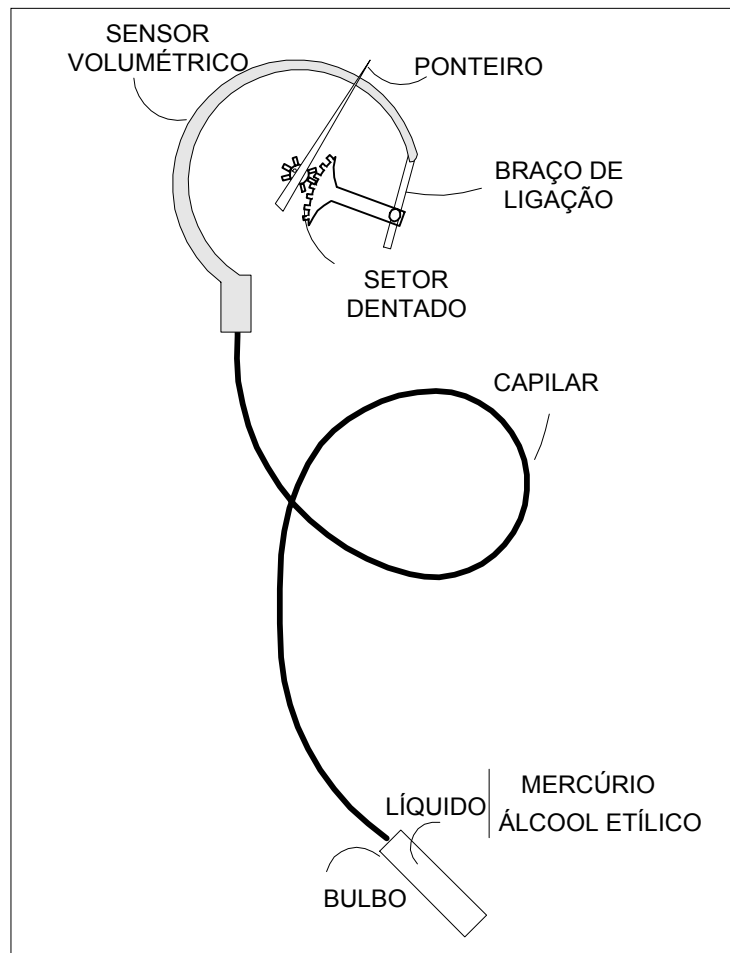
O conjunto é preenchido com um líquido a alta pressão e com a variação da temperatura, o líquido varia a força que incide no sensor.

### Tipos de Líquido de Enchimento :

Mercúrio - para temperatura entre  $-35$  e  $+550^{\circ}\text{C}$ .

Álcool - para temperatura entre  $-50$  e  $+150^{\circ}\text{C}$ .

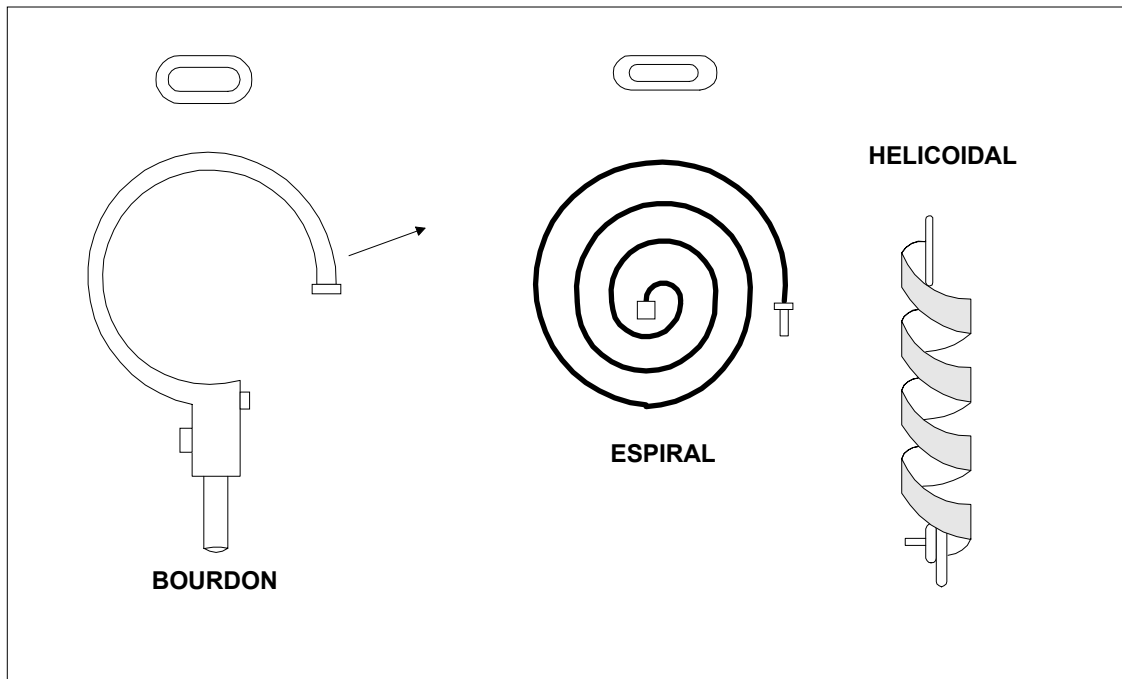
Xileno - para temperatura entre  $-40$  e  $+400^{\circ}\text{C}$ .



### Notas:

1. O mercúrio (HG) é o mais usado entre os líquidos apresentados. No caso de seu uso, o material do bulbo, capilar e o sensor não poderá ser de cobre ou ligas do mesmo. Quando o líquido utilizado é mercúrio, o material de construção mais comum do termômetro é aço 1020 ou 316 (inox).
2. A pressão de enchimento do termômetro é de cerca de 50atm, o que justifica a faixa de utilização ultrapassar os limites do ponto de ebulição dos líquidos.

**Elementos de medição:-** Basicamente pode ser de três tipos:- Bourdon, Espiral e Helicoidal. O material de construção é normalmente bronze fosforoso, cobre, berílio, aço inox e aço carbono. O elemento de ligação do elemento ao ponteiro é igual ao usado em manômetros.



## Termômetro de Dilatação de Gás

### Princípio de Funcionamento

Fisicamente idêntico ao termômetro de dilatação de líquido, consta de um bulbo, elemento de medição e capilar de ligação entre estes dois elementos.

O volume do conjunto é sensivelmente constante e é preenchido com um gás a alta pressão. Com a variação de temperatura o gás varia sua pressão conforme, aproximadamente, a lei dos gases perfeitos. O elemento de medição neste caso opera como medidor de pressão.

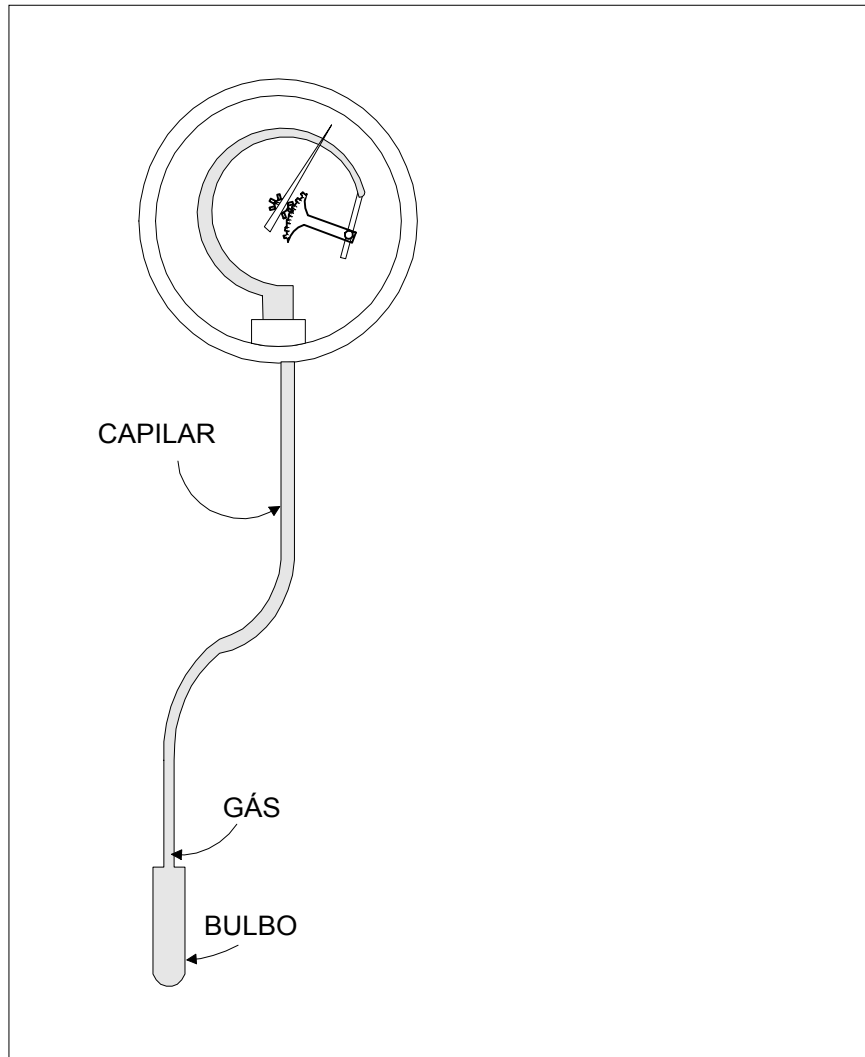
### Tipos de Gás de Enchimento

Hélio (He) - temperatura crítica = 267,8°C.

Hidrogênio (H<sub>2</sub>) - temperatura crítica = 239,9°C.

Nitrogênio (N<sub>2</sub>) - temperatura crítica = 147,1°C.

Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) - temperatura crítica = 31,1°C.



**Nota:-** O gás mais utilizado é o  $N_2$  e geralmente é enchido com uma pressão de 20 a 50atm, na temperatura mínima a medir.

Sua faixa de medição vai de  $-100^{\circ}C$  à  $600^{\circ}C$ , o limite inferior é o do próprio gás ao se aproximar da temperatura crítica, e o superior é do recipiente devido a maior permeabilidade ao gás, o que acarretaria a sua perda inutilizando o termômetro.

## Termômetro a Tensão de Vapor

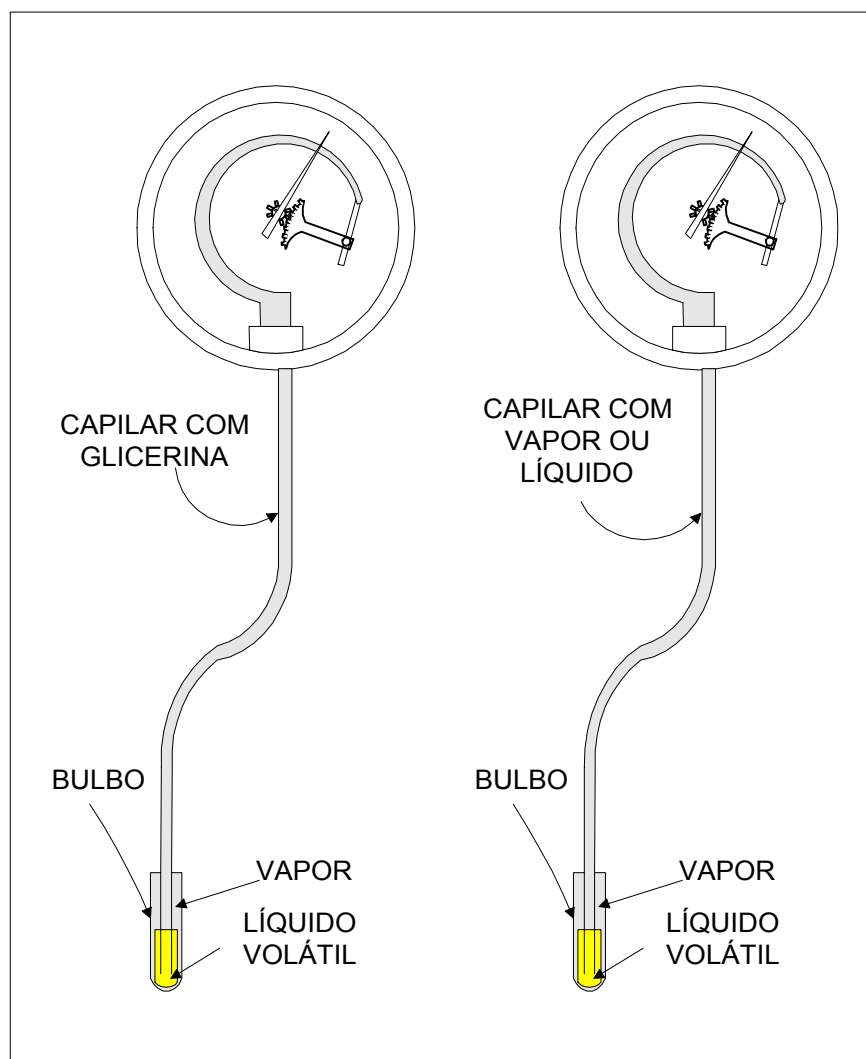
### Princípio de Funcionamento

Também fisicamente idêntico ao de dilatação de líquidos. Possui um bulbo e um elemento de medição ligados entre si por meio de um capilar. O bulbo é parcialmente cheio de um líquido volátil em equilíbrio com o seu vapor. A pressão do vapor é função exclusiva do tipo de líquido e da temperatura.

### Tipos de Líquidos de Enchimento

A tabela apresenta os líquidos mais utilizados e seus respectivos pontos de fusão e ebulição.

LÍQUIDO	PONTO DE FUSÃO (°C)	PONTO DE EBULIÇÃO (°C)
Cloreto de Metila	- 139	- 24
Butano	- 135	- 0,5
Éter Etílico	- 119	+ 34
Tolueno	- 95	+ 110
Dióxido de Enxofre	- 73	- 10
Propano	- 190	- 42



## Termômetro à dilatação de sólido ou Termômetro Bimetálico

### Princípio de Funcionamento

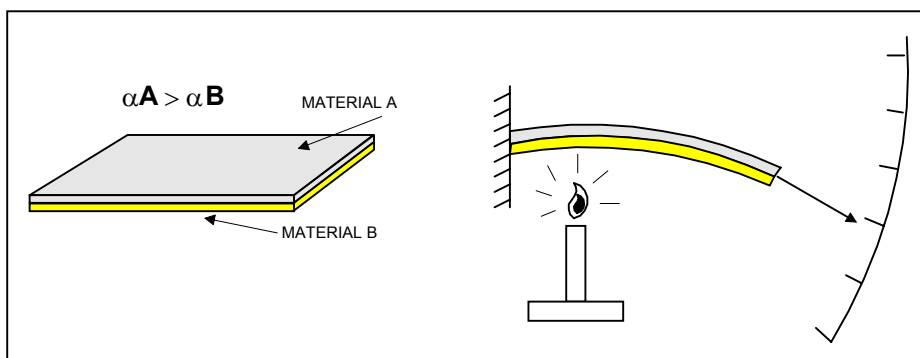
A operação deste tipo de termômetro se baseia no fenômeno da dilatação linear dos metais com a temperatura. É sabido que o comprimento de uma barra metálica varia com a temperatura segundo a fórmula aproximada:

### O Bimetal

Fixando-se duas lâminas metálicas com coeficientes de dilatação diferentes de maneira indicada na figura, e submetendo o conjunto assim formado a uma variação de temperatura, observa-se um encurvamento que é proporcional à temperatura. O encurvamento é devido as diferentes coeficientes de dilatação dos dois metais, sendo o segmento de círculo a forma geométrica que comporta as duas lâminas com comprimentos diferentes.

Evidentemente, fixando-se uma extremidade da lâmina bimetálica, o movimento da outra ponta representará a temperatura da mesma. A sensibilidade deste sistema é bem superior à do apresentado na figura anterior, sendo tanto maior quanto for o comprimento da lâmina e a diferença entre os dois coeficientes de dilatação dos metais.

Um termômetro elementar baseado no efeito bimetálico é apresentado na figura a seguir.



## O Termômetro Bimetálico

Na prática a lâmina bimetálica é enrolada em forma de espiral ou hélice, o que aumenta mais ainda a sensibilidade do sistema.

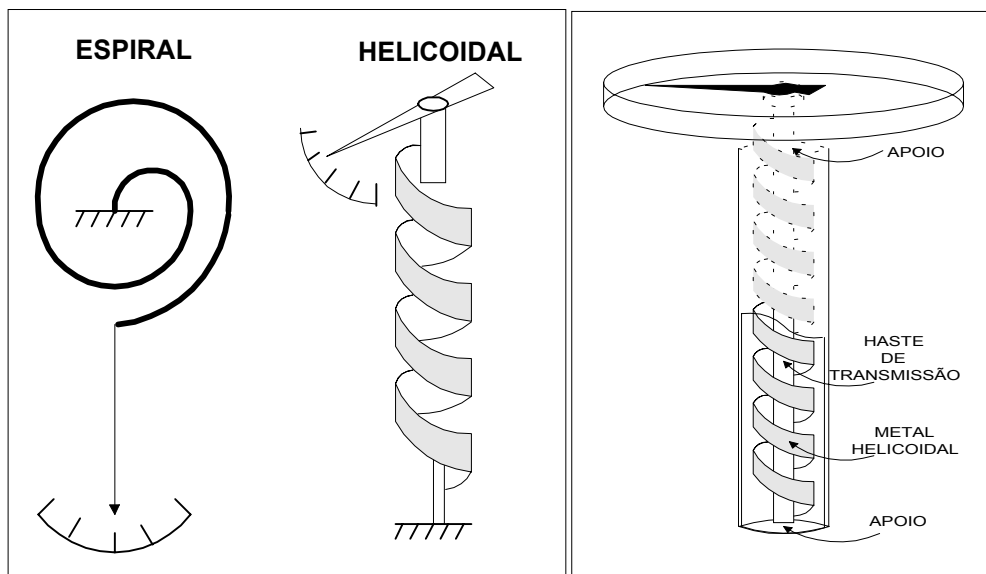
O termômetro mais usado é o de lâmina bimetálica helicoidal. E consiste de um tubo bom condutor de calor, do interior do qual é fixada um eixo que por sua vez recebe um ponteiro que se desloca sobre uma escala.

Normalmente o eixo gira de um ângulo de  $270^\circ$  para uma variação de temperatura que cubra toda a faixa do termômetro.

A faixa de trabalho dos termômetros bimetálicos vai aproximadamente de  $-50^\circ\text{C}$  à  $800^\circ\text{C}$ , sendo a escala sensivelmente linear.

A exatidão normalmente garantida é de  $\pm 2\%$  do valor máximo da escala.

Usualmente, as lâminas bimetálicas são submetidas a tratamentos térmicos e mecânicos após a confecção, usando a estabilização do conjunto (repetibilidade).





## **Termômetro de Resistência**

### **Princípio de Funcionamento**

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:

$$R = R_0 (1 + \alpha t) \text{ Equação nº1}$$

Onde:  $R$  = resistência à  $t^\circ\text{C}$ .

$R_0$  = resistência à  $0^\circ\text{C}$ .

$\alpha$  = coeficiente de variação de resistência do metal com a temperatura.

$t$  = temperatura.

Esta fórmula nos diz que a resistência varia linearmente com a temperatura, porém a rigor o coeficiente de variação de resistência ( $\alpha$ ) muda de valor para cada faixa de temperatura, o que limita o uso da fórmula apenas para pequenas variações de temperatura.

### **Tipos de Metal Utilizados e Faixa de Utilização:**

Os metais utilizados com maior frequência na confecção de termo resistência são:-

- platina (Pt)
- níquel (Ni)
- cobre (Cu)

A faixa de utilização aproximada dos três metais é mostrada a seguir:-

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.

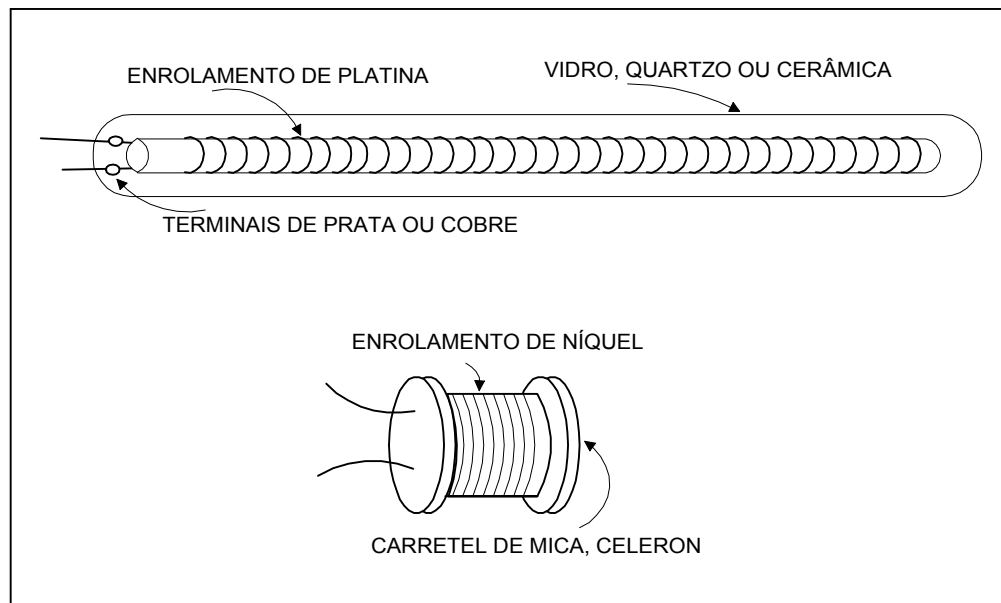
COBRE - faixa - 200 à 120°C - Ponto de Fusão 1023°C.

### **Tipos de Construção:**

Normalmente a termoresistência é constituída de um fio muito fino, enrolado sobre um suporte isolante que poderá ser de mica, vidro ou cerâmica. Este conjunto é isolado e

encapsulado em vidro ou cerâmica, tornando a resistência assim constituída, isolada do meio ambiente.

O termo elemento pode ser protegido por uma fina capa metálica e será utilizado dentro do poço de proteção.



As extremidades dos fios de resistência são soldados em fios de prata ou cobre, que por sua vez vão ter a um bloco terminal existente no cabeçote do poço de proteção. Em casos especiais são fabricados termo resistências duplas no mesmo conjunto, seja para maior segurança ou para acionar simultaneamente dois ou mais dispositivos de medição e/ou controle.

### Medição de Temperatura por Termopares

A aplicação de par termoelétrico (termopares) na medição de temperatura está baseada em diversos fenômenos.

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

## Termopares - Tipos e Qualidades Requeridas

### Tipos de Termopares

Apesar de em princípio, qualquer par de metais prestar na construção de termopares, existem alguns tipos já padronizados na indústria.

A seguir mostramos os tipos mais usados nas indústrias:-

#### Tipo T - Termopares de Cobre Constantan

Composição: Cobre(+) / Cobre-Níquel(-)

O fio negativo Cobre-Níquel é conhecido comercialmente como Constantan.

Características: Resistentes a corrosão em atmosferas úmidas e são adequados para medições de temperaturas abaixo de zero. É resistente à atmosfera oxidantes(excesso de Oxigênio), redutoras(rica em Hidrogênio, monóxido de Carbono), inertes(neutras), na faixa de -200 a 350°C.

Faixa de trabalho: - -200 a 350 °C.

Aplicação: É adequado para trabalhar em faixas de temperatura abaixo de 0°C, encontradas em sistemas de refrigeração, fábrica de O<sub>2</sub> etc..

Identificação da polaridade:

Cobre (+) é avermelhado e o Cobre/Níquel (-) não.

#### Tipo J - Termopares de Ferro - Constantan

Composição: Ferro(+) / Cobre-Níquel(-)

O fio negativo Cobre-Níquel é conhecido comercialmente como Constantan.

Características:

Adequados para uso no vácuo, atmosferas oxidantes, redutoras e inertes. Acima de 540°C, a taxa de oxidação do ferro é rápida e recomenda-se o uso de tubo de proteção para prolongar a vida útil do elemento.

Embora possa trabalhar em temperaturas abaixo de 0°C, deve-se evitar quando houver possibilidade de condensação, corroendo o ferro e possibilitando a quebra do fio de ferro.

Não deve ser usado em atmosferas sulfurosas(contém enxofre) acima de 540°C. O uso em temperaturas abaixo de zero não é recomendado, devido à rápida oxidação e quebra do elemento de ferro tornando seu uso em temperaturas negativas menor que o tipo T. Devido a dificuldade de obtenção de fios de ferro com alto teor de pureza, o tipo J tem baixo custo e é o mais utilizado industrialmente.

Aplicação:

Indústrias em geral até 750°C.

Identificação da polaridade:

Ferro (+) é magnético e o Cobre (-) não.

**Tipo E - Termopares de Cromel Constantan**

Composição:

Níquel-Cromo (+)/Cobre-Níquel (-)

O fio positivo de Níquel-Cromo é conhecido comercialmente como Cromel e o fio negativo Cobre Níquel como Constantan.

Características:

Podem ser utilizados em atmosferas oxidantes e inertes. Em atmosferas redutoras, alternadamente oxidante e redutora e no vácuo, não devem ser utilizados pois perdem suas características termoelétricas. Adequado para o uso em temperaturas abaixo de zero, desde que não sujeito a corrosão em atmosferas úmidas. Apresenta a maior geração mV/°C (potência termoelétrica) do que todos os outros termopares, tornando-se útil na detecção de pequenas alterações de temperatura.

Aplicação:

Uso geral até 900°C.

Identificação da polaridade:

O Níquel-Cromo (+) é mais duro que o Cobre-Níquel (-).

**Tipo K - Termopares de Cromel Alumel**

Composição:

Níquel-Cromo (+)/Níquel-Alumínio (-).

O fio positivo de Níquel-Cromo é conhecido comercialmente como Cromel e o negativo Cromo-Alumínio como Alumel. O Alumel é uma liga de Níquel, Alumínio, Manganês e Silício.

Características:

São recomendáveis para uso em atmosferas oxidantes ou inertes no seu range de trabalho. Por sua resistência à oxidação, são melhores que os tipos T, J, E e por isso são largamente usados em temperaturas acima de 540°C.

Ocasionalmente podem ser usados em temperaturas abaixo de zero grau.

Não devem ser utilizados em:

- 1) Atmosferas redutoras ou alternadamente oxidante e redutora.
- 2) Atmosferas sulfurosas, pois o enxofre ataca ambos os fios e causa rápida ferrugem e quebra dos elementos.
- 3) Vácuo, exceto por curtos períodos de tempo, pois o Cromo do elemento positivo pode vaporizar-se causando erro no sinal do sensor (descalibração).
- 4) Atmosferas que facilitem a corrosão chamada de “*green root*”. Green root, oxidação verde, ocorre quando a atmosfera ao redor do termopar possui pouco oxigênio, como por exemplo dentro de um tubo de proteção longo, de pequeno diâmetro e não ventilado.

O green-root pode ser minimizado aumentando o fornecimento de oxigênio através do uso de um tubo de proteção de maior diâmetro ou usando um tubo ventilado. Outro modo é diminuir a porcentagem de oxigênio para um valor abaixo da qual proporcionará corrosão. Isto é feito inserindo-se dentro do tubo um “getter” ou elemento que absorve oxigênio e vedando-se o tubo. O “getter” pode ser por exemplo uma pequena barra de titânio.

#### Aplicação:

É o mais utilizado na indústria em geral devido a sua grande faixa de atuação até 1200°C.

#### Identificação da polaridade:

Níquel-cromo (+) não atrai ímã e o Níquel-Alumínio (-) levemente magnético.

#### **Tipo N Nicrosil - Nisil**

##### Composição:

Níquel 14,2%-Cromo 1,4%-Silício (+) / Níquel 4,4%-Silício 0,1%-Magnésio (-)  
Desenvolvido na Austrália, este termopar foi aprovado mundialmente, estando inclusive normalizado pela ASTM (American Society for Testing and Materials), NIST (Antigo NBS- National Bureau of Standards) e ABNT.

Está se apresentando como substituto do termopar tipo K, de -200 a 1200°C, possui uma potência termoelétrica menor em relação ao tipo K, porém uma maior

estabilidade, excelente resistência a corrosão e maior vida útil. Resiste também ao “green-root” e seu uso não é recomendado no vácuo.

### **Tipo S Platina Ródio-Platina**

#### Composição:

Platina 90% - Ródio 10% (+) / Platina (-)

### **Tipo R Platina Ródio-Platina**

#### Composição:

Platina 97% - Ródio 13% (+) / Platina (-)

#### Características:

São recomendados para uso em atmosferas oxidantes ou inertes no seu range de trabalho. O uso contínuo em altas temperaturas causam excessivo crescimento de grão, podendo resultar em falha mecânica do fio de Platina (quebra de fio), e tornar os fios susceptíveis à contaminação, causando redução da F.E.M. gerada.

Mudanças na calibração também são causadas pela difusão ou volatilização do Ródio do elemento positivo para o fio de Platina pura do elemento negativo. Todos estes efeitos tendem a causar heterogeneidades que influenciam na curva característica do sensor.

Os tipos S e R não devem ser usados no vácuo, em atmosferas redutoras ou atmosferas com vapores metálicos a menos que bem protegidos com tubos protetores e isoladores cerâmicos de alumina e quando se usa tubo de proteção de Platina (tubete) que por ser do mesmo material, não contamina os fios e dá proteção necessária aos elementos.

Apresentam grande precisão e estabilidade em altas temperaturas sendo utilizados como sensor padrão na calibração de outros termopares. A diferença básica entre o tipo R e S está na diferença da potência termoeletrônica, o tipo R gera um sinal aproximadamente 11% maior que o tipo S.

#### Aplicação:

Processos com temperaturas elevadas ou onde é exigido grande precisão como indústrias de vidro, indústrias siderúrgicas, etc.

#### Identificação da polaridade:

Os fios positivos de Platina-Ródio 10% e Platina-Ródio 13% são mais duros que o fio de platina (-).

### **Tipo B - Platina-Ródio / Platina-Ródio**

#### Composição:

Platina 70%-Ródio 30% (+) / Platina 94%-Ródio 6% (-)

#### Características:

Seu uso é recomendado para atmosferas oxidantes e inertes, também adequado para curtos períodos no vácuo. Não deve ser aplicado em atmosferas redutoras nem as que contem vapores matálicos, requerendo tubo de proteção cerâmico como os tipo R e S.

O tipo B possui maior resistência mecânica que os tipos R e S.

Sua potência termoelétrica é baixíssima, em temperaturas de até 50°C o sinal é quase nulo.

Não necessita de cabo compensado para sua interligação. É utilizado cabos de cobre comum (até 50°C).

#### Aplicação:

Utilizado em indústrias no qual o processo exige altas temperaturas.

#### Identificação da polaridade:

Platina 70%-Ródio 30% (+) é mais duro que o Platina 94%-Ródio 6% (-).

### **Termopares novos**

Com o desenvolvimento de novos processos industriais ao longo do tempo, novos tipos de termopares foram desenvolvidos para atender condições que os termopares que foram vistos até agora não atendiam.

Muitos destes termopares ainda não estão normalizados e também não são encontrados no Brasil.

#### Platina 60%-Ródio 40% (+) / Platina 80%-Ródio 20% (-)

Para uso contínuo até 1800 1850°C, substituindo o tipo B. Não é recomendado para atmosferas redutoras.

#### Irídio 60%-Ródio 40% (+) / Irídio (-)

Podem ser usados até 2000°C em atmosferas inertes ou no vácuo, não recomendado para atmosferas redutoras ou oxidantes.

#### Platinel 1 - Paládio 83%-Platina 14%-Ouro 3% (+) / Ouro 65%-Paládio 35% (-).

Aproxima-se do tipo K, atuando na faixa de até 1250°C. Sua composição é apenas de metais nobres, apresentando excelente estabilidade em atmosfera oxidante, mas não em atmosferas redutoras ou vácuo.

Tungstênio 95%-Rhênio 5% (+) / Tungstênio 74%-Rhênio 26% (-)

Ainda não normalizado, denominado termopar tipo C. Pode ser utilizado continuamente até 2300°C e em curtos períodos até 2700°C no vácuo, na presença de gás inerte ou hidrogênio. Não recomendado em atmosfera oxidante. Sua principal aplicação é em reatores nucleares.

Existem algumas variações na composição das ligas, por exemplo:

Tungstênio (+) / Tungstênio 74%-Rhênio 26% (-)

Tipo G (não oficial)

Tungstênio 97%-Rhênio 5% (+) / Tungstênio 75%-Rhênio 25% (-)

Tipo D (não oficial)

Níquel-Cromo (+) / Ouro-Ferro (-)

Usado em temperaturas criogênicas de -268°C até 15°C

**Outros tipos de termopares**

Tungstênio - Molibidênio.

Faixa de temperatura 0 à 2.000°C.

Tungstênio - Iridium.

Faixa de temperatura 0 à 200°C.

Grafite - Carbureto de Boro.

Faixa de temperatura 0 à 2500°C.

**Junta de Referência ou Junta Fria (Compensação da Junta Fria)**

Como já foi visto a F.E.M. desenvolvida em par termoelétrico, é função da diferença de temperatura entre as duas junções. Desta maneira o termopar não mede a temperatura real na junção de medição, e sim a diferença entre esta junção (medição) e a outra tomada como referência. Para se obter a temperatura real é preciso conhecer

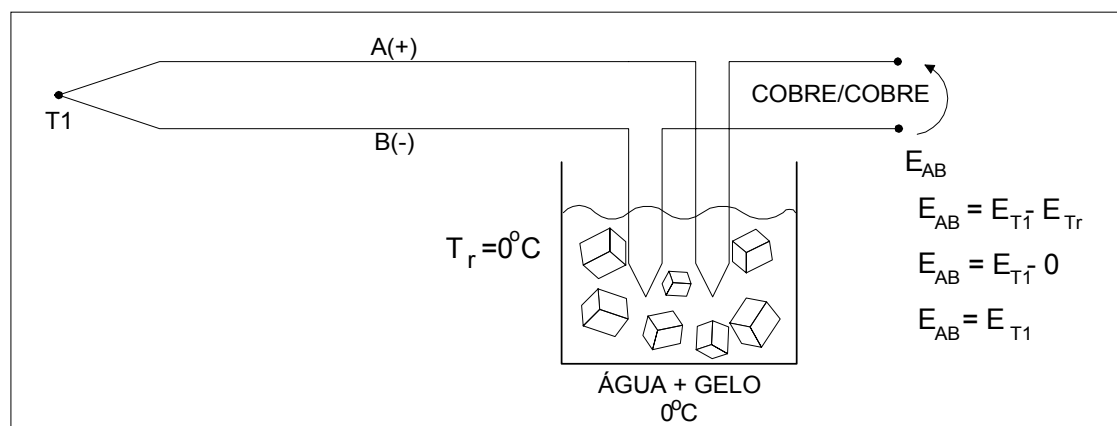


exatamente a temperatura da junta de referência e procurar mantê-la constante a fim de facilitar as leituras posteriores.

Existem alguns métodos para se manter a temperatura da junta de referência:-

1) Introduzindo-se a junta de referência em recipiente com gelo e água em equilíbrio, onde a temperatura é constante e próxima à 0°C. Como as tabelas de F.E.M. fornecidas normalmente são referidas à 0°C, este método é bastante cômodo, pois possibilita a leitura direta da temperatura na tabela conhecendo-se apenas a F.E.M. gerada no circuito.

Este método é utilizado em laboratório ou na indústria em alguns casos especiais. Evidentemente este processo não é muito prático, quando se necessita supervisionar a temperatura desejada por tempo bastante prolongado, devido a necessidade da reposição contínua do gelo na junta de referência.



*Junta de Referência a 0°C*

### Principais Qualidades Requeridas por um Termopar

Para corresponder às exigências de um serviço tipo industrial, os termopares devem possuir as seguintes características:-

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:

- Facilidade de construção e leitura de escala e gráficos.
- Facilidade de construção de dispositivos de compensação de junta de referência.
- Adequabilidade do uso em indicadores digitais.

### **Termopares de classe especial**

Existem duas classes de precisão para termopares, a classe standard que é a mais comum e utilizada e a classe especial também chamada de "Premium Grade".

Estes termopares são fornecidos na forma de pares casados, isto é com características de ligas com graus de pureza superiores ao standard. Existe também um trabalho laboratorial para adequação de lote de fios, conseguindo com isto uma melhor precisão na medição de temperatura.

### **Fios e cabos de Extensão e de Compensação**

Os fios utilizados normalmente na confecção de termopares, são geralmente dispendiosos devido ao custo da matéria prima (platina, ródio, cromo e níquel) utilizada e ao critério na composição das diversas ligas. Geralmente, não é possível manter a junta de referência junto ao ponto de medição mormente nas instalações industriais, devido às condições do local de medição serem inadequadas.

Fios são condutores formados por um eixo sólido e cabos são condutores formados por um feixe de condutores de menor diâmetro.

### Fios e cabos de extensão

São condutores formados com as mesmas ligas dos termopares a que se destinam, apresentando a mesma curva de F.E.M. por temperatura. Apresentam custo inferior pois sua composição química não é tão homogênea quanto a do termopar, limitando sua exposição a temperaturas altas como do termopar.

## CABOS DE EXTENSÃO E COMPENSAÇÃO PARA TERMOPARES

Tipo de termopar	Tipo do Cabo	Material dos Condutores		Norma Americana ANSI MC 96.1			Norma Alemã DIN 43714			Norma Japonesa JISC 1610/81		
		+	-	cabo	+	-	cabo	+	-	cabo	+	-
<b>T</b>	extensão	cobre	cobre-níquel	azul	azul	vermelho	marrom	vermelho	marrom	marrom	vermelho	branco
<b>J</b>	extensão	ferro	cobre-níquel	preto	branco	vermelho	azul	vermelho	azul	amarelo	vermelho	branco
<b>E</b>	extensão	níquel-cromo	cobre-níquel	roxo	roxo	vermelho	preto	vermelho	preto	roxo	vermelho	branco
<b>K</b>	extensão	níquel-cromo	níquel-alumínio	amarelo	amarelo	vermelho	verde	vermelho	verde	azul	vermelho	branco
<b>K</b>	compensação	ferro	níquel-cobre	-	-	-	verde	vermelho	verde	azul	vermelho	branco
<b>S</b>	compensação	cobre	cobre-níquel	verde	preto	vermelho	branco	vermelho	branco	preto	vermelho	branco
<b>R</b>	compensação	cobre	cobre-níquel	verde	preto	vermelho	branco	vermelho	branco	preto	vermelho	branco
<b>B</b>	Cabo comum	cobre	cobre	cinza	cinza	vermelho	cinza	vermelho	cinza	cinza	vermelho	branco
<b>N</b>	extensão	níquel-cromo-silício	níquel-silício	laranja	laranja	vermelho	-	-	-	-	-	-

### Fios e cabos de compensação

São fabricados com ligas diferentes dos termopares a que se destinam, mas também apresentam a mesma curva F.E.M.x temperatura dos termopares. Usados principalmente com termopares nobres tipos (R e S), pois é economicamente inviável construir fios de extensão de Platina. Os fios de compensação são fabricados normalmente sob a forma de um cabo de dois condutores.

Os dois condutores são isolados individualmente recebendo posteriormente uma isolamento externa comum podendo em alguns casos possuir uma blindagem metálica externa (shield). Os materiais mais empregados na isolamento são: borracha, PVC, fibra de vidro, amianto, silicone e teflon.

# Pirometria de Radiação

## Introdução

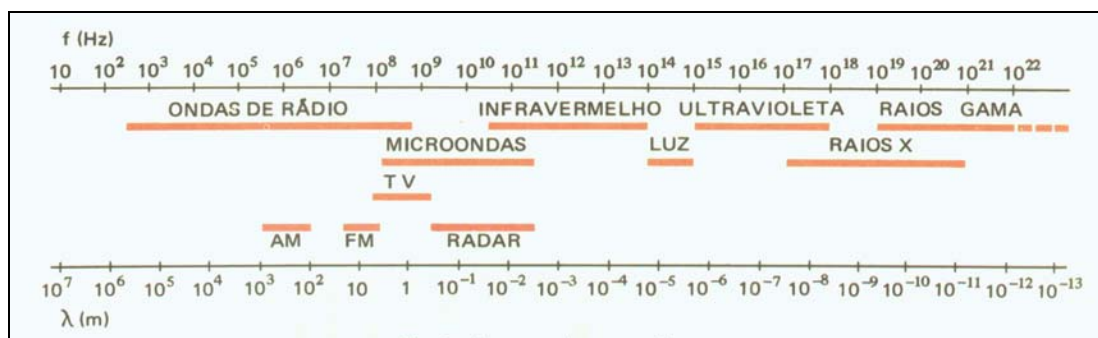
Medidas de temperatura de corpos aquecidos através da radiação emitida, tem sido largamente empregadas no processamento industrial. Não há contato direto com o corpo cuja temperatura está sendo medida e há uma relativa independência quanto à distância ao elemento detetor de radiação. O corpo pode estar em repouso ou em movimento, o que torna o método particularmente aplicável em processos contínuos (fornos rotativos, laminação, etc.).

Temperaturas acima de 1500°C (limite superior de uso de termopares de Pt-Pt, Rh) são comuns nas indústrias e, apesar dos progressos na técnica da fabricação de novos tipos de termopares como V-V<sub>74</sub> Re<sub>26</sub> ou Ir<sub>40</sub> Rh<sub>60</sub> que estendem o intervalo de aplicação dos termopares acerca de 2000°C ou mais, os pirômetros de radiação ocupam um lugar definido na pirometria e não têm, em princípio, limite superior de temperatura.

## Espectro eletromagnético

Hoje, sabemos que existe uma variação ampla e contínua nos comprimentos de onda e frequência das ondas eletromagnéticas.

No quadro abaixo, temos um resumo dos diversos tipos de ondas eletromagnéticas, chamado espectro eletromagnético; as frequências estão em hertz e os comprimentos de onda, em metros.



*Espectro eletromagnético*

Analisando esse quadro, observamos que luz, ondas de rádio e raios X são nomes dados a certas faixas de frequência e comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Cada nome caracteriza uma faixa, na qual as ondas são emitidas e

recebidas de um modo determinado. Por exemplo, a luz, de comprimentos de onda em torno de  $10^{-6}$  m, pode ser percebida através de seu efeito sobre a retina, provocando a sensação de visão; mas, para detectar ondas de rádio, cujo comprimento de onda varia em torno de  $10^5$  m a  $10^{-1}$  m, precisamos de equipamentos eletrônicos.

### **Radiação Total - Emitância - Lei de Stefan - Boltzmann**

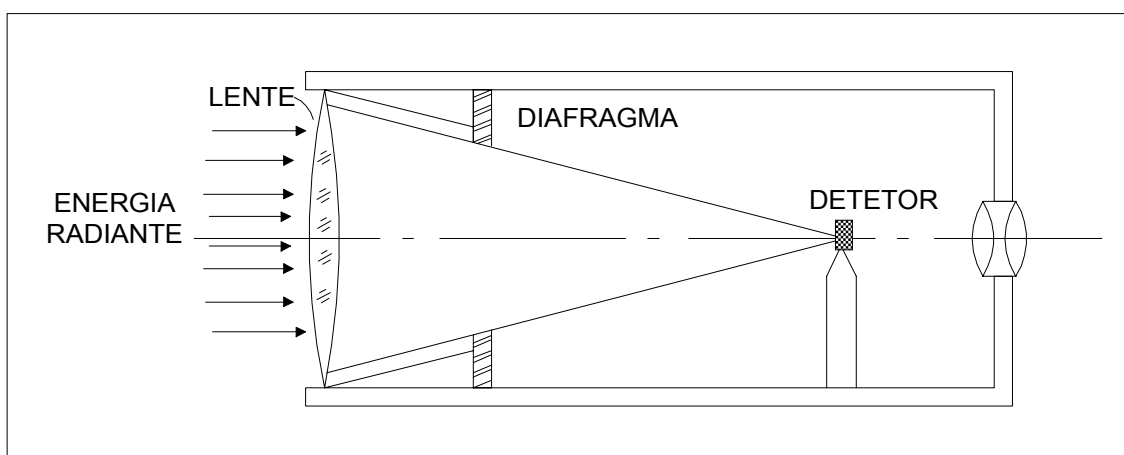
Todos os corpos, em virtude da energia térmica que possuem, emitem energia radiante em suas superfícies. A energia radiante é emitida em forma de ondas eletromagnéticas, cujos comprimentos da onda se estendem desde o ultravioleta ao infravermelho (0,001 a 100 micra) compreendendo o intervalo visível (0,38 a 0,78 micra).

## **Medição de Temperatura**

### **Princípio**

É possível medir a temperatura de um corpo pela medida do fluxo radiante emitido por ele. A temperatura do detector subirá até atingir um equilíbrio com o meio ambiente (perdas por radiação, convecção e condução). Na maioria dos pirômetros de radiação, o equilíbrio é atingido antes que a temperatura ultrapasse em  $40^{\circ}\text{C}$  a temperatura ambiente, mesmo quando a fonte é incandescente.

Toda variação na temperatura da fonte resulta, portanto, numa variação na temperatura do detector mas de magnitude muito menor, tão pequeno que justifica a aplicação da lei do resfriamento de Newton.



*Pirômetro de Radiação Refrator*

A principal restrição ao uso de lentes reside no fato que o índice de refração varia com o comprimento de onda da radiação incidente e conseqüentemente a distância focal. A

imagem sai colorida (aberração cromática) e não bem focalizada. Há ainda a absorção seletiva pelo material da lente de certos comprimentos de onda.

Apesar desses inconvenientes, o pirômetro com lente é muito útil para aplicação em alvos pequenos. A uma distância de 24" uma superfície de uma polegada de diâmetro é suficiente.