

# Sensores em Instrumentação

## Medidas de Grandezas Físicas:

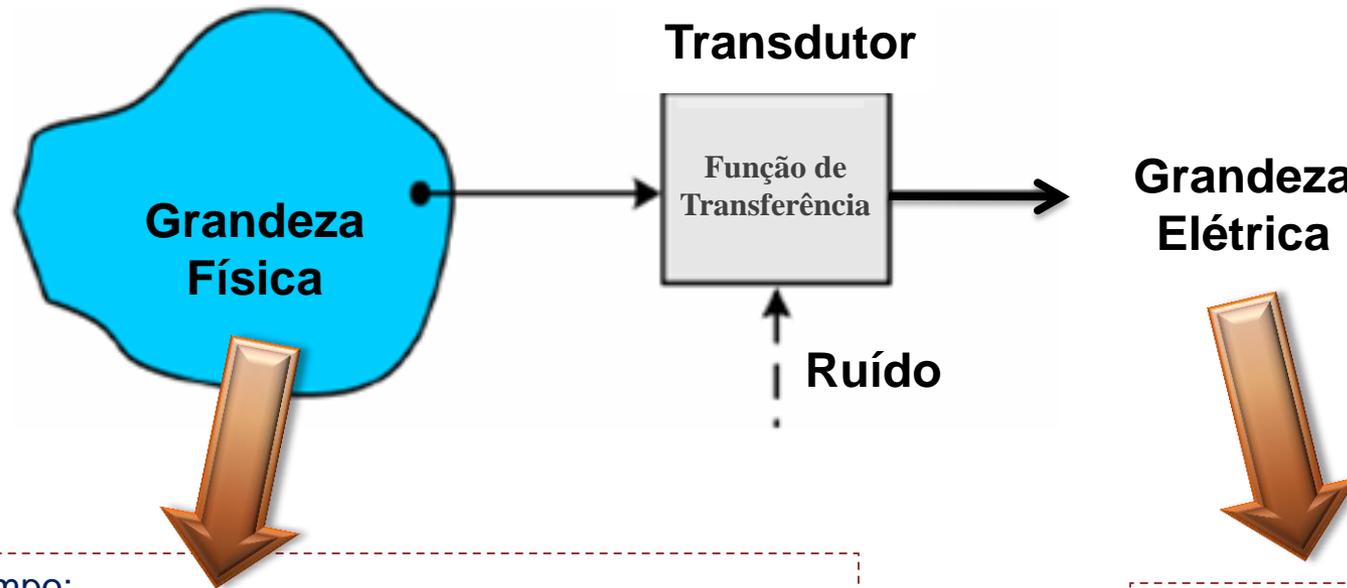


### Transdutores



**Convertem variações de grandezas físicas em variações elétricas (corrente, tensão), as quais podem ser medidas e gerar, indiretamente, uma medida da variação**

# Transdutores



- Tempo;
- Massa, força; deformação;
- Comprimento, distância, velocidade, aceleração;
- Intensidade luminosa;
- Tensão Elétrica, corrente, potência;
- Pressão, nível Vazão;
- Umidade;
- Temperatura;
- Campos Elétrico e Magnético;
- etc..

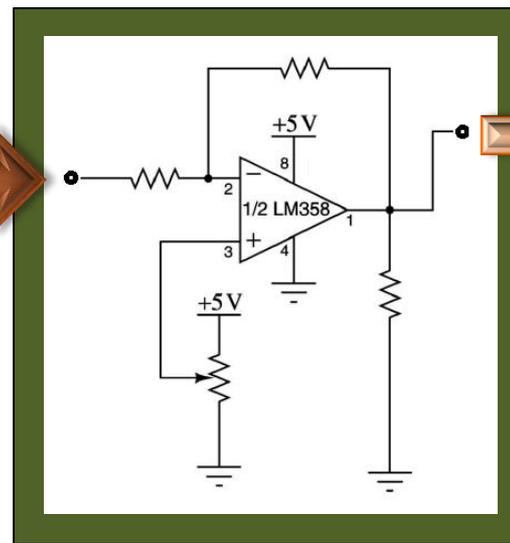
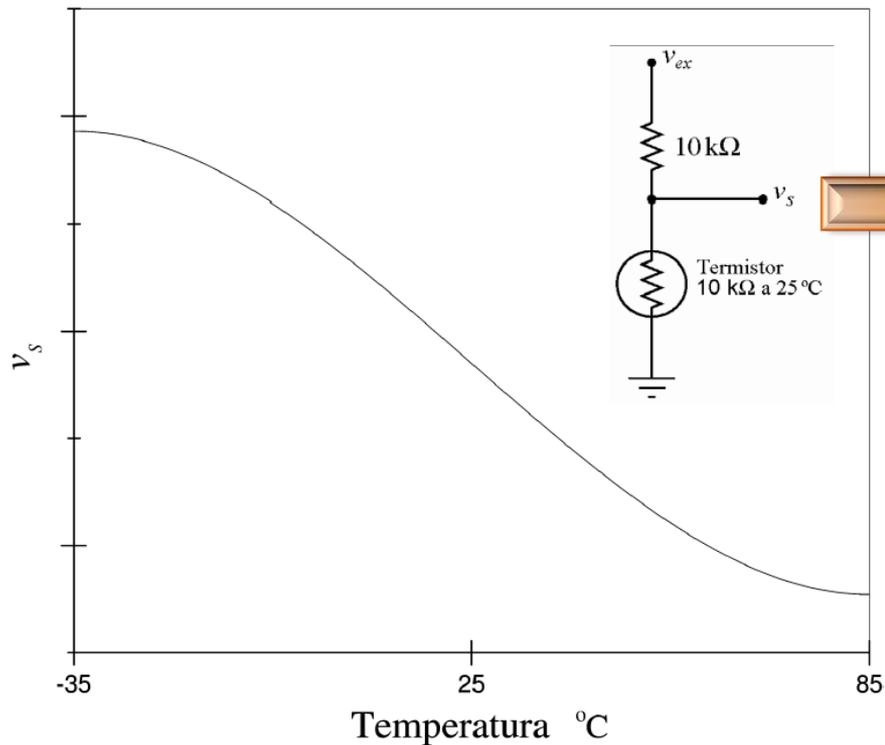
- Resistência;
- Capacitância;
- Indutância;
- Tensão;
- Corrente

# Transdutores Exemplo Prático



NTC

## Termômetro com NTC



Condicionador  
de Sinal



Voltímetro  
Digital

# Sensores

- Sensores são dispositivos que detectam e geram informações sobre o equipamento e sobre o meio onde estão inseridos.
- Sensores produzem um sinal que permite medir uma determinada grandeza, como:
  - Força, torque, temperatura, posição, velocidade, ...

# Sensores resistivos

- Uma propriedade importante em instrumentação é a resistividade de um material

A resistividade elétrica pode ser definida como

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Onde:

E é a magnitude do campo elétrico (V/m);

J é a magnitude da densidade de corrente (A/m<sup>2</sup>).

A resistência elétrica  $R$  de um dispositivo está relacionada com a resistividade  $\rho$  de um material por:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Onde:

$\rho$  é a resistividade elétrica (em ohm metros,  $\Omega\text{m}$ );

$R$  é a resistência elétrica de uma amostra uniforme do material( $\Omega$ );

$l$  é o comprimento da amostra (em metros);

$A$  é a área da seção da amostra ( $\text{m}^2$ ).

Esta relação não é geral e vale apenas para materiais uniformes e isotrópicos, com seções transversais também uniformes.

**Resistência Elétrica**



**Grandeza associada à resistividade**

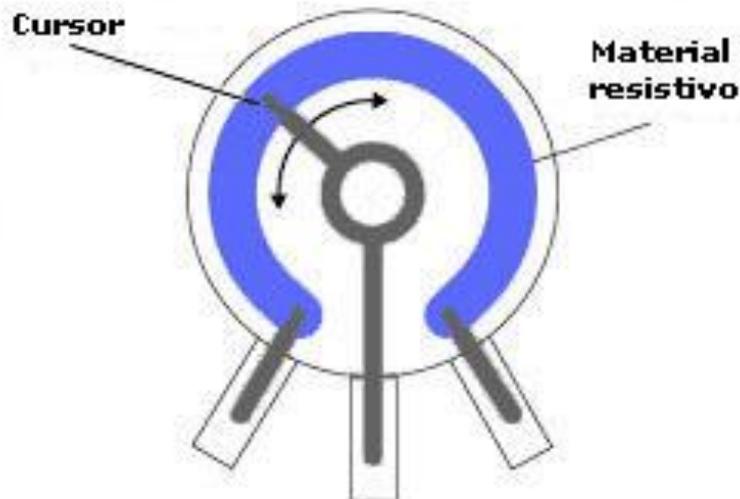
**Sensores resistivos**



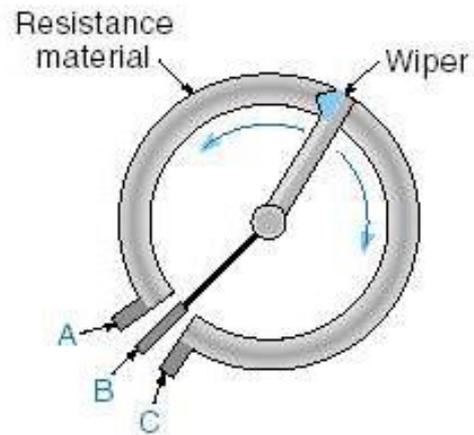
**Dispositivos cuja resistência elétrica varia com a grandeza a ser medida.**

# Sensores resistivos

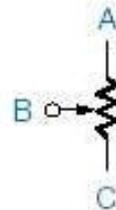
- Um potenciômetro é basicamente um elemento resistivo cuja resistência elétrica varia com a posição do cursor.
- Potenciômetros são úteis para medir posição e são fabricados de forma que a resistência elétrica entre dois de seus terminais varie com a posição do seu cursor.



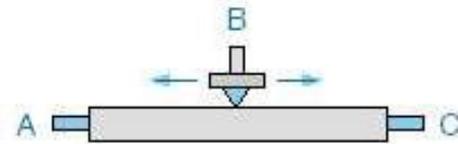
# Sensores de Posição - Resistivos



(a) Rotary pot

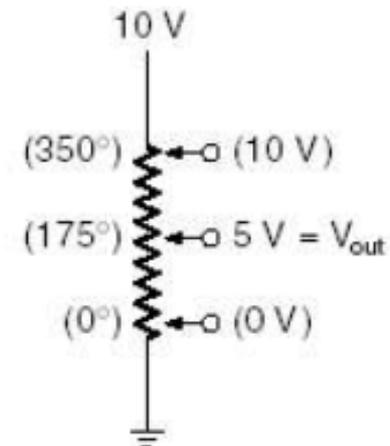
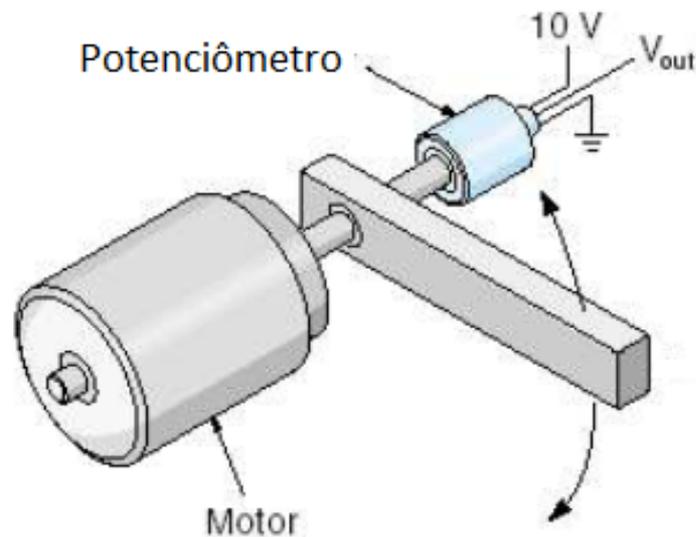


(b) Symbol

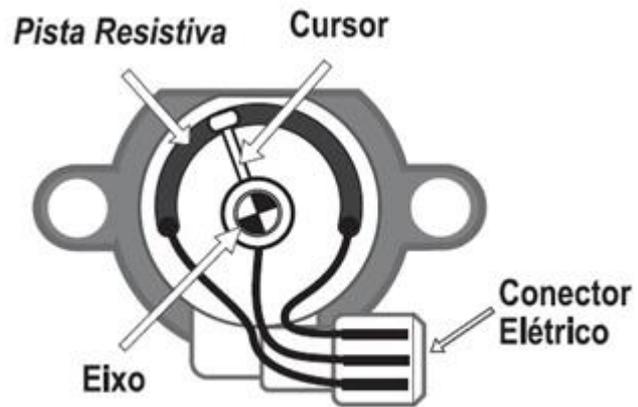
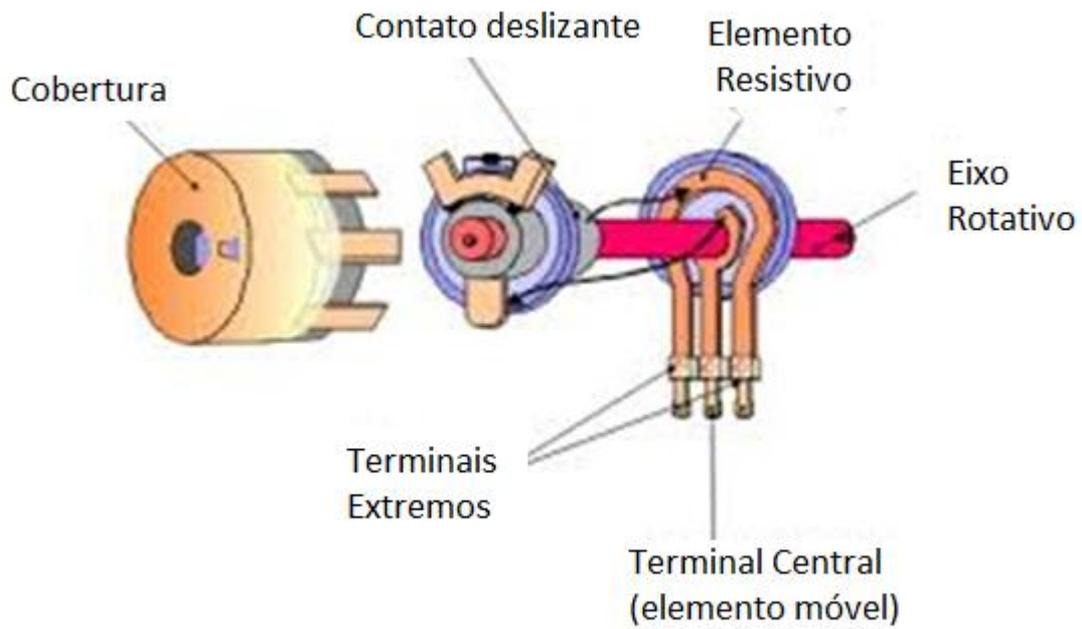


(c) Linear-motion pot

# Sensores de Posição - Resistivos

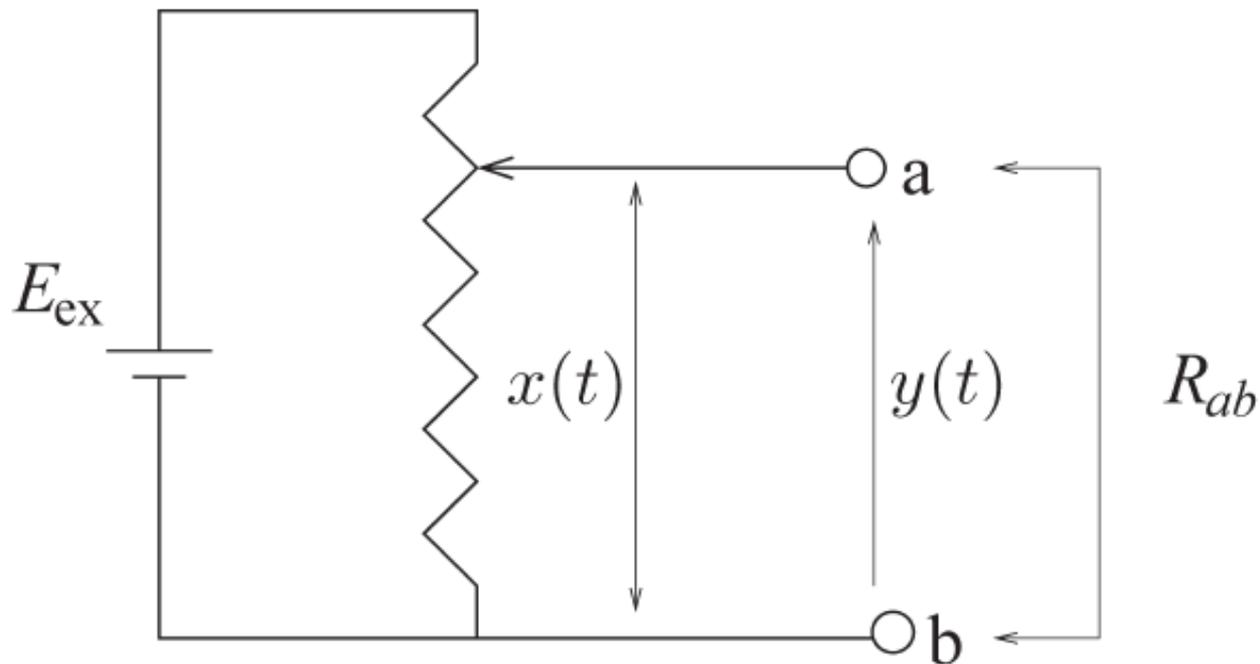


Circuito elétrico para medida de posição do braço com potenciômetro



# Sensores resistivos

- Circuito com potenciômetro para medição de posição:



# Sensores resistivos

- A geometria dos potenciômetros pode ser tanto linear quanto circular.
- Os potenciômetros em geral são classificados em duas grandes classes:
  - ✓ potenciômetros de carvão;
  - ✓ potenciômetros de fio.

- Os potenciômetros de carvão são menos estáveis no que diz respeito à temperatura, geram maior ruído térmico, são não lineares, mas, em princípio, têm resolução infinita.
- Por outro lado, os potenciômetros de fio são mais lineares e estáveis em relação à temperatura, entretanto, sua resolução é limitada, em especial, pelo espaçamento entre duas espiras adjacentes.

## Potenciômetro de Fio



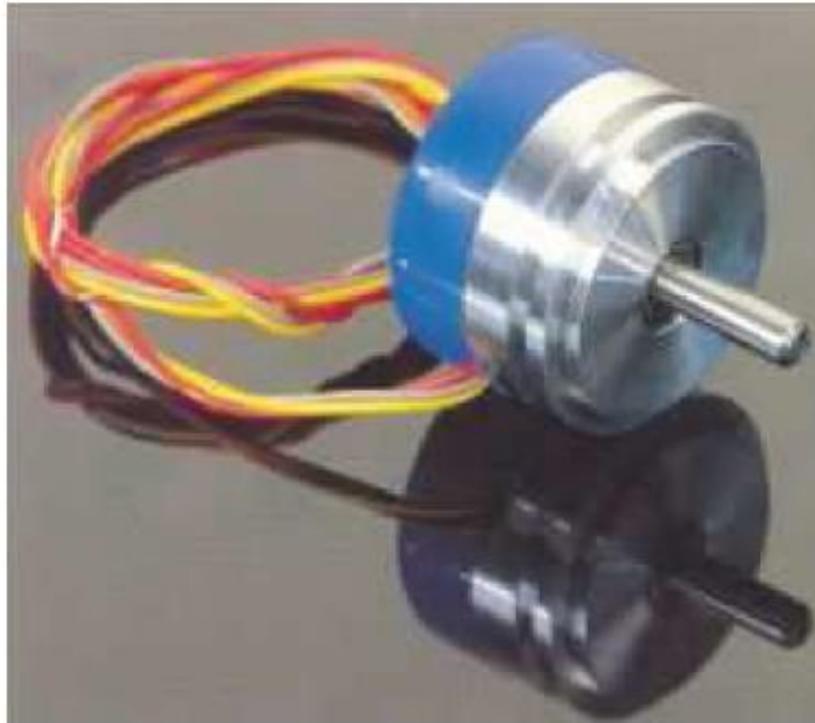
**300W 40Ω**



Store No : 717485

# Sensores resistivos

- Potenciômetro rotativo:

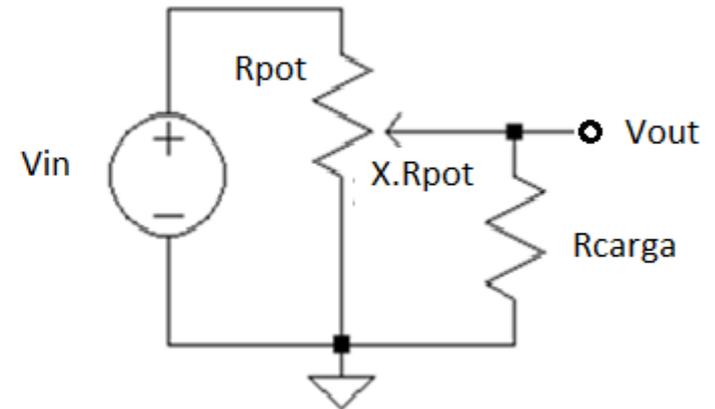
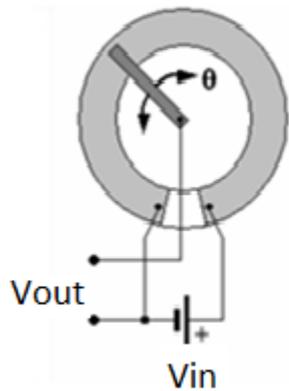


*Cortesia de Penny+Giles Controls Ltd.*

# Transdutor Potenciométrico

Potenciômetro associado a uma fonte de tensão

Ação externa do cursor resulta em variação da tensão de saída



**$V_{out}$  depende de  $\theta$**

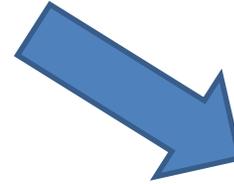
# Potenciômetro Rotativo



# Potenciômetro Linear



# Potenciômetros



Rotativos

Lineares



## *Parâmetro*

Faixa	2 mm até 8 m
Resolução	50 $\mu\text{m}$
Linearidade	0,002% até 0,1%
Velocidade máxima	10 m/s (restrições mecânicas)
Potência	0,1 W (plástico condutivo ou híbrido) até 50 W (fio)
Vida útil	$10^8$ ciclos (plástico condutivo)
Vantagens	Fácil de usar, baixo custo, não eletrônico, alta amplitude do sinal
Desvantagens	Limitado em frequência, atrito e inércia, desgastes

# Potenciômetros



## Rotativos



### *Parâmetro*

Faixa	10° até 60 voltas
Resolução	2° até 0,2°
Linearidade	0,002% até 0,1%
Velocidade máxima	10 m/s (restrições mecânicas)
Potência	0,1 W (plástico condutivo ou híbrido) até 50 W (fio)
Vida útil	10 <sup>8</sup> ciclos (plástico condutivo)
Vantagens	Fácil de usar, baixo custo, não eletrônico, alta amplitude do sinal
Desvantagens	Limitado em frequência, atrito e inércia, desgastes

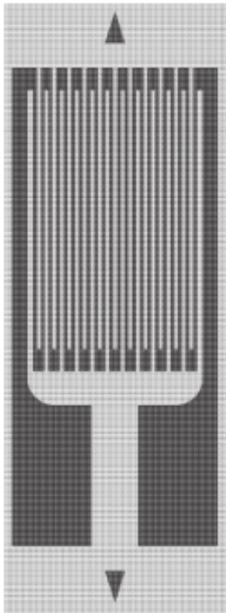
# Sensores resistivos – Extensômetros (*Strain gauges*)



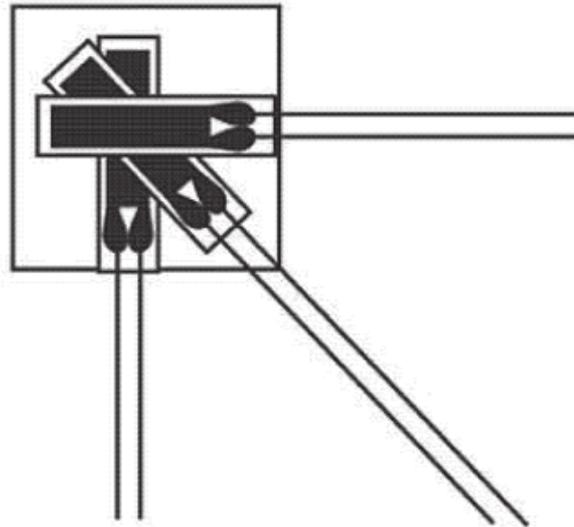
# Sensores resistivos – Extensômetros (*Strain gauges*)

- Extensômetros são dispositivos resistivos cuja resistência varia com a sua deformação.

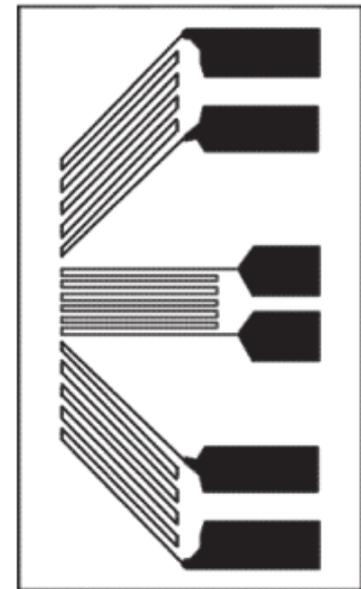
(a)



(b)



(c)



# Sensores resistivos

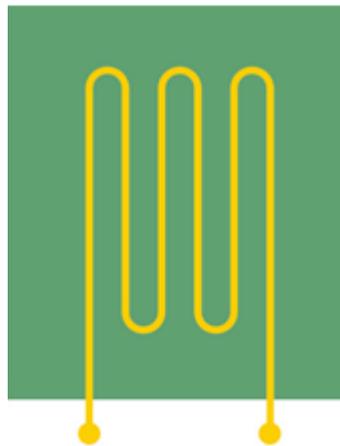
- O princípio de funcionamento dos extensômetros é descrito, matematicamente, por equação que evidencia que a resistência de um elemento depende também de seus aspectos geométricos, como comprimento e área da seção transversal.
- Assim, os extensômetros são elementos resistivos construídos de maneira a maximizar a variação de resistência com a deformação.

## *Extensômetro (Strain gauges)*

São dispositivos que mudam a resistência quando são estendidos ou comprimidos.

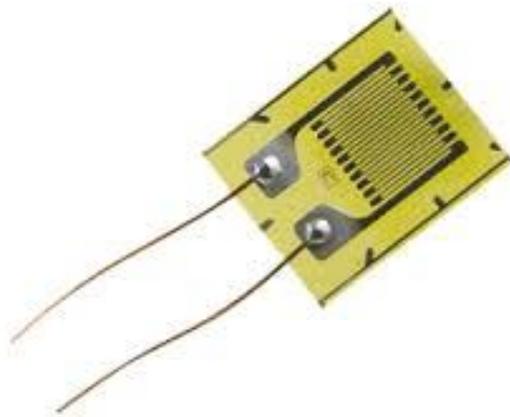
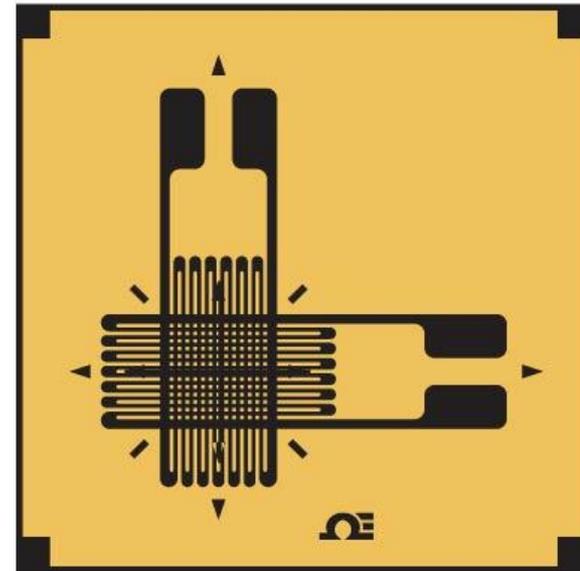
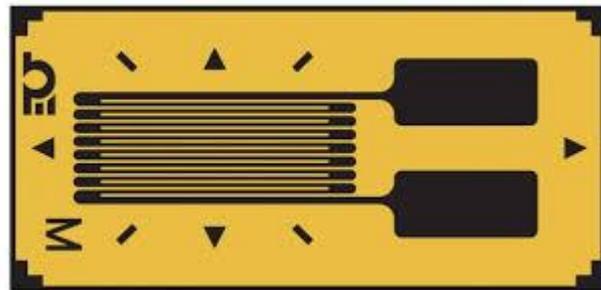
Eles permitem detectar pequenos deslocamentos, na faixa de 0 – 50  $\mu\text{m}$ , e são usados como transdutores.

Quando uma tensão mecânica é aplicada ao dispositivo, a forma da seção transversal do fio muda, já que a resistência do fio é inversamente proporcional à área da seção transversal.

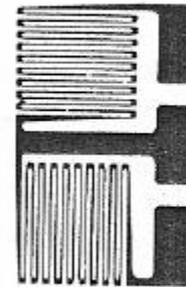
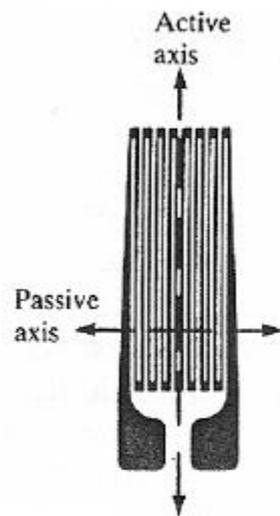


## Strain gauges

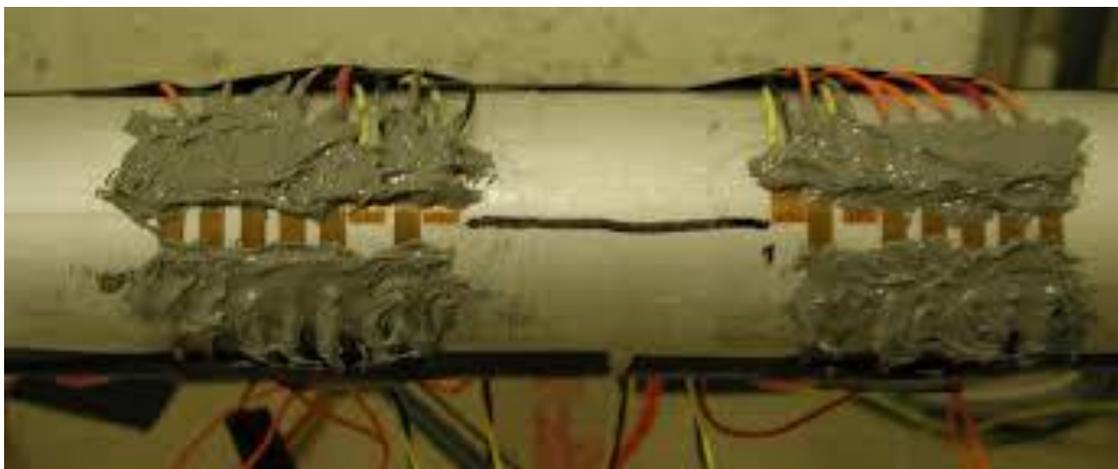
Dispositivos mais comuns usam uma pista desenhada sobre material flexível.



## ■ Extensômetros



Configurações



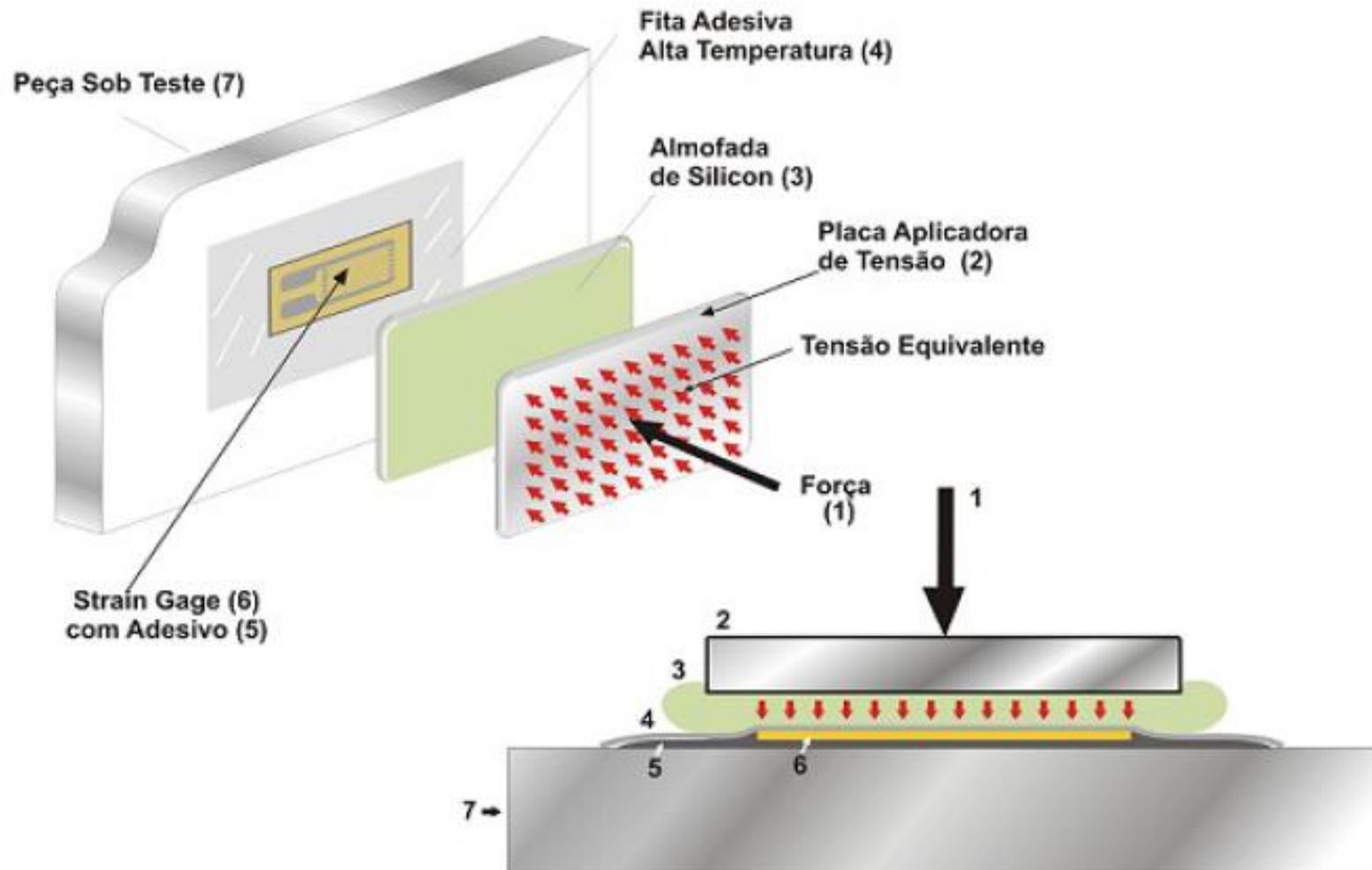
Medição de torque por Telemetria, com o uso de Extensômetro

# Sensores resistivos

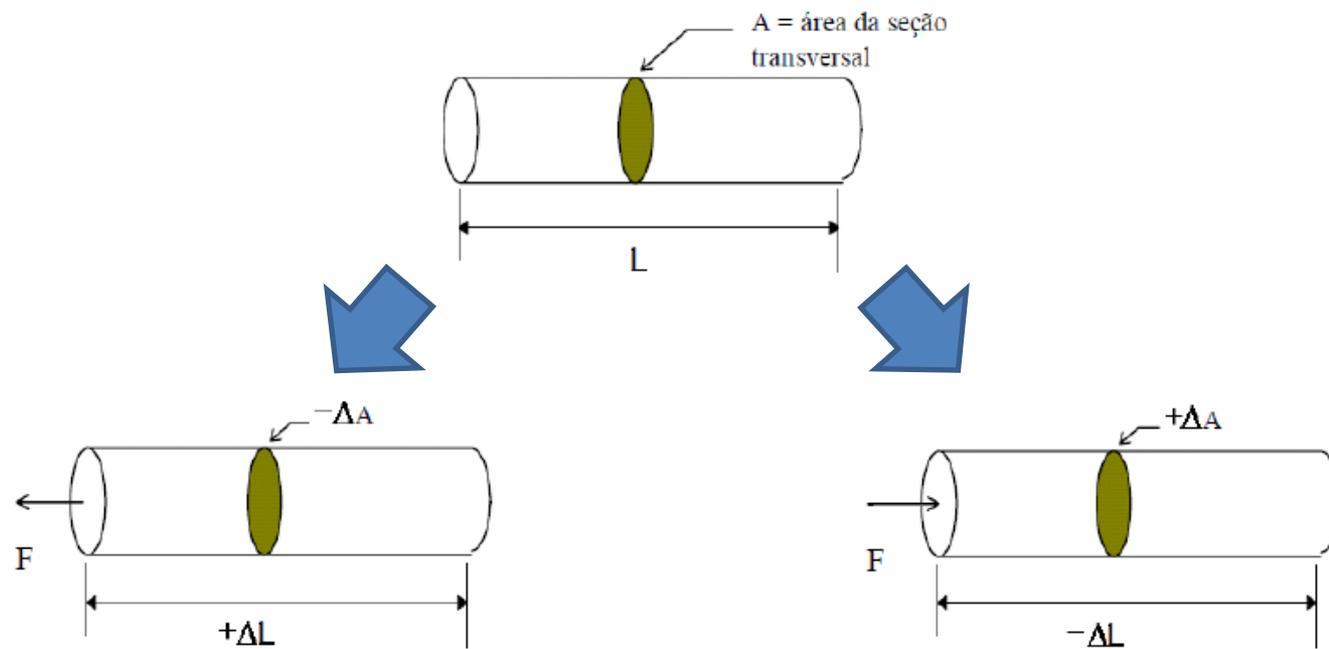
- As variações de resistência elétrica em extensômetros comerciais são muito pequenas. Tipicamente, bem menores que  $1 \Omega$ , o que em geral corresponde a variações inferiores a 1%.
- É importante observar que os extensômetros são afixados permanentemente em estruturas metálicas chamadas células de carga. De maneira geral, as características de sensibilidade e não linearidade, ambas relacionadas ao mesurando, devem-se muito mais ao projeto da célula de carga que aos extensômetros.

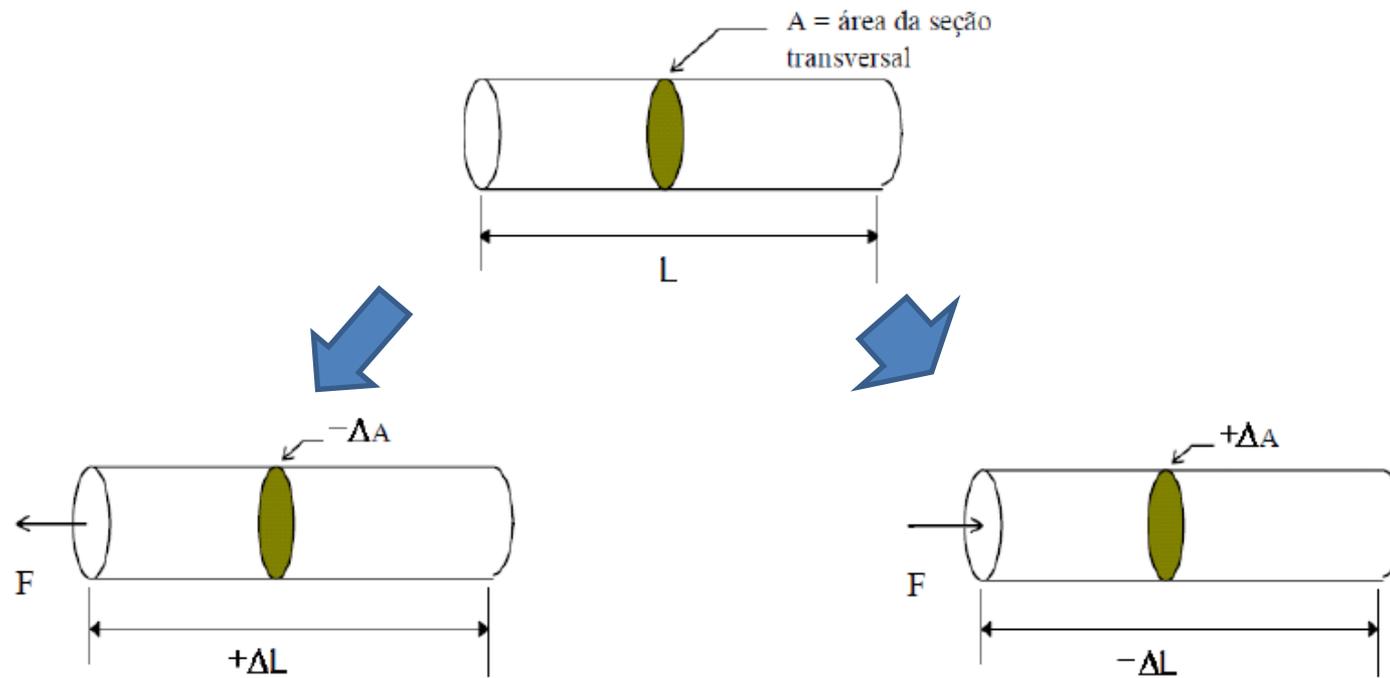
São amplamente empregados na medida de deformações e, associados à ponte de Wheatstone.

Podem ser empregados em uma série de aplicações que envolvem medidas de pressão, tensão, força, entre outras grandezas.



$$R = \rho \frac{l}{A}$$





Para elementos de secção transversal circular a variação relativa da área está ligada a variação de diâmetro

A variação relativa de diâmetro está relacionada com a variação relativa de comprimento através da razão de Poisson ( $\nu$ ):



$$\frac{\Delta d}{d} = -\nu \frac{\Delta L}{L}$$

Variação relativa de resistência:



$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} (1 + 2\nu) + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

# Fator de *gauge* (*me* ou *G*)

$$me = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L}$$

As deformações às quais os strain gauges são submetidos devem ser elásticas

A tensão mecânica produz uma deformação deste material que é proporcional à força aplicada e ao módulo de Young (lei de Hook aplicada aos materiais):

$$\sigma = \frac{F}{A} = E\varepsilon = E \frac{\Delta L}{L}$$

Onde:  $\sigma$  é a tensão mecânica,  $F$  é a força,  $A$  é a área,  $E$  é o módulo de Young e  $\varepsilon$  é a deformação

*strain gauges* são especificados normalmente em função de sua deformação máxima ( $\epsilon$ )

Valores de  $\epsilon$  são da ordem de  $10^{-6}$  mm de deformação

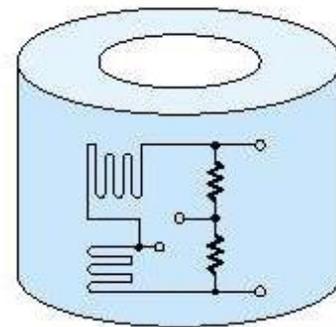
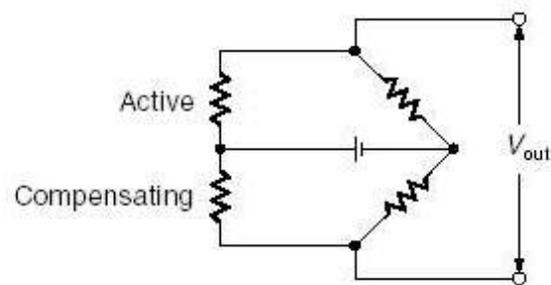
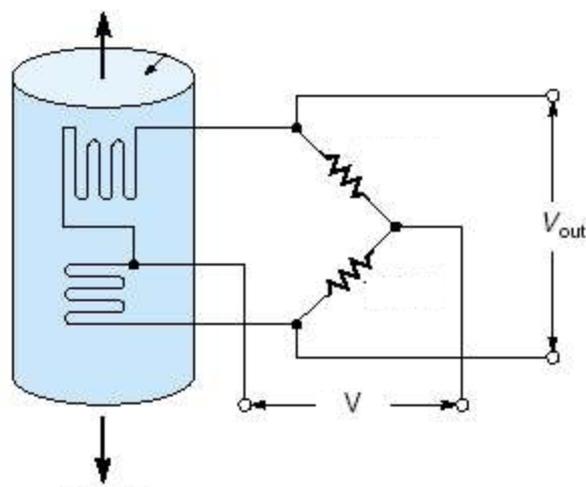
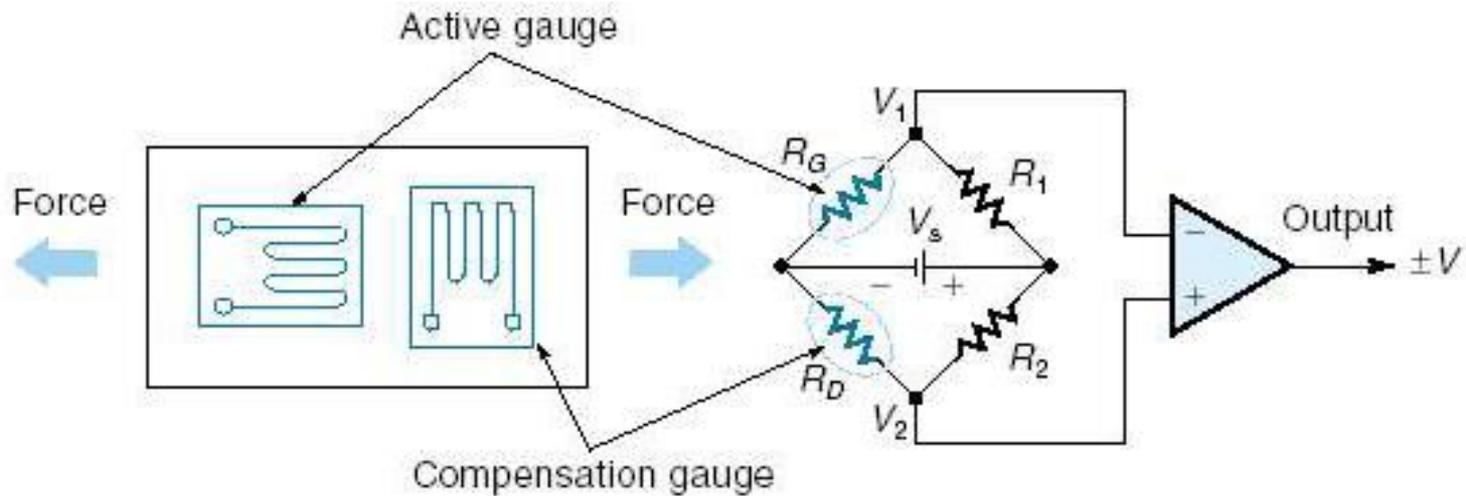
Vários materiais podem ser usados para a construção de strain gauges, resultando em diferentes fatores de gauge e faixa de operação

$$me = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L}$$

<i>Material</i>	<i>Sensibilidade (me)</i>
Platinum (Pt 100%)	6,1
Platinum-Iridium (Pt 95%, Ir 5%)	5,1
Platinum-Tungsten (Pt 92%, W 8%)	4,0
Isoelastic (Fe 55.5%, Ni 36% Cr 8%, Mn 0.5%) *	3,6
Constantan / Advance / Copel (Ni 45%, Cu 55%) *	2,1
Nichrome V (Ni 80%, Cr 20%) *	2,1
Karma (Ni 74%, Cr 20%, Al 3%, Fe 3%) *	2,0
Armour D (Fe 70%, Cr 20%, Al 10%) *	2,0
Monel (Ni 67%, Cu 33%) *	1,9
Manganin (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%) *	0,47
Nickel (Ni 100%)	-12,1

<i>Parâmetro</i>	<i>Metal</i>	<i>Semicondutor</i>
Faixa	0,1 $\mu\epsilon$ até 50000 $\mu\epsilon$	0,001 $\mu\epsilon$ até 3000 $\mu\epsilon$
Fator de Gage	1,8 até 4,5	40 até 200
Resistência Nominal ( $\Omega$ )	120, 250, 350, 600, ..., 5000	1000 até 5000
Tolerância	0,1% até 0,35%	1% até 2%
Potência máxima		250mW
Corrente máxima	5mA até 25mA (base boa condutora de calor)	
Frequência máxima	100kHz (tamanho menor que o comprimento de onda)	
Tamanho (mm)	0,4 até 150 (padrão entre 3 e 10)	1 até 5

$\mu\epsilon$  (*microstrains*)       $10^{-6}$  mm



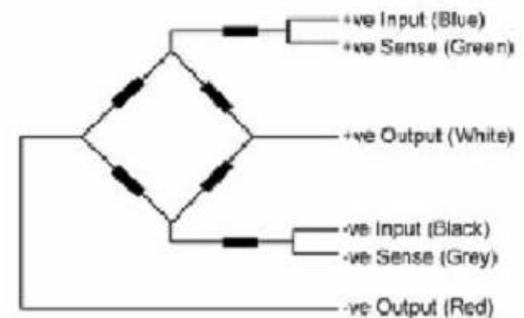
- Extensômetros
  - Exemplos:



Células de carga em miniatura



Célula de carga em S  
uso em ponte.

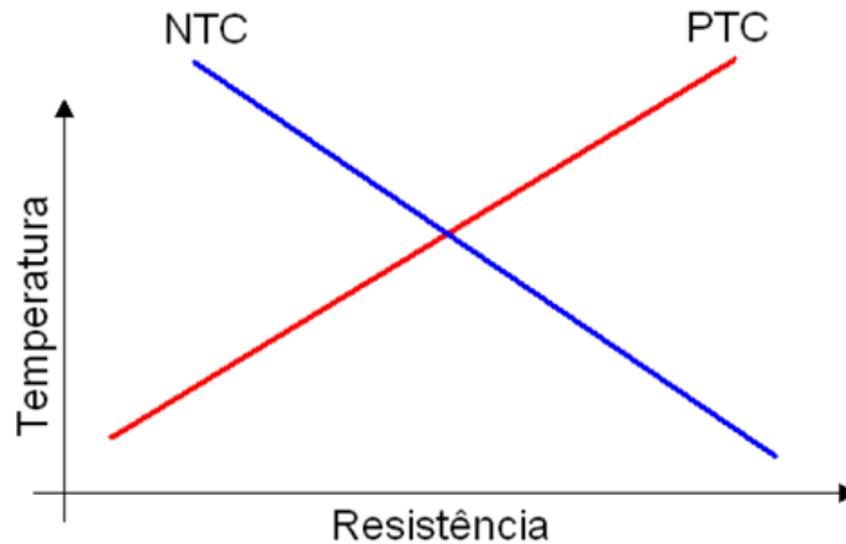
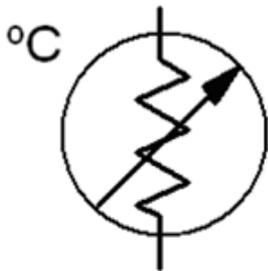


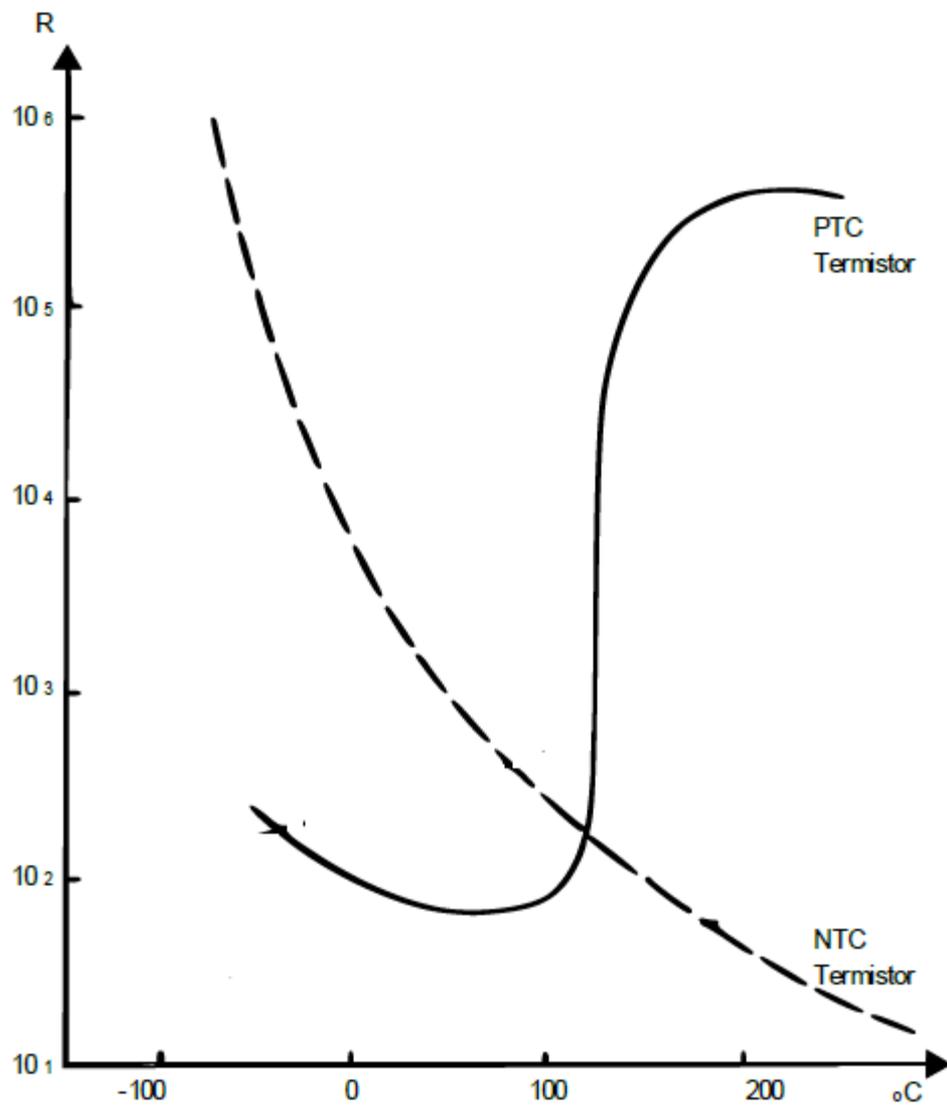
# Termistores

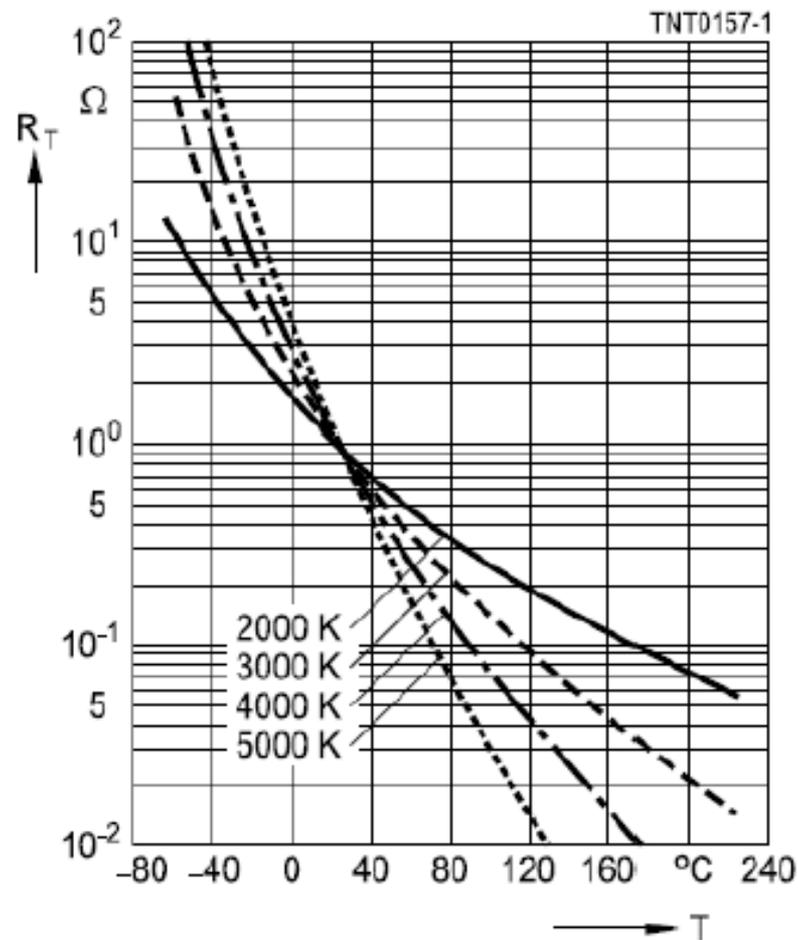
## Resistores sensíveis à temperatura

NTC (*Negative Temperature Coefficient*)

PTC (*Positive Temperature Coefficient*)







Curvas características de NTCs comerciais ([Epcos – Electronic Parts and Components](#))

Constante de tempo térmica:

Tempo necessário para o termistor atingir 63,2% da diferença entre as temperaturas inicial e final do seu corpo, quando submetido a uma mudança brusca de temperatura (normalmente uma função degrau)

## Características Gerais

---

### *Parâmetro*

---

Faixa de temperatura	-100°C até 450°C
Resistência em 25°C	0,5Ω até 100 MΩ (1kΩ até 10MΩ)
Máxima Temperatura	300°C contínuo ou 600°C intermitente
Contante de Tempo Térmica	1ms até 22s
Máxima Potência Dissipada	1mW até 1W

---

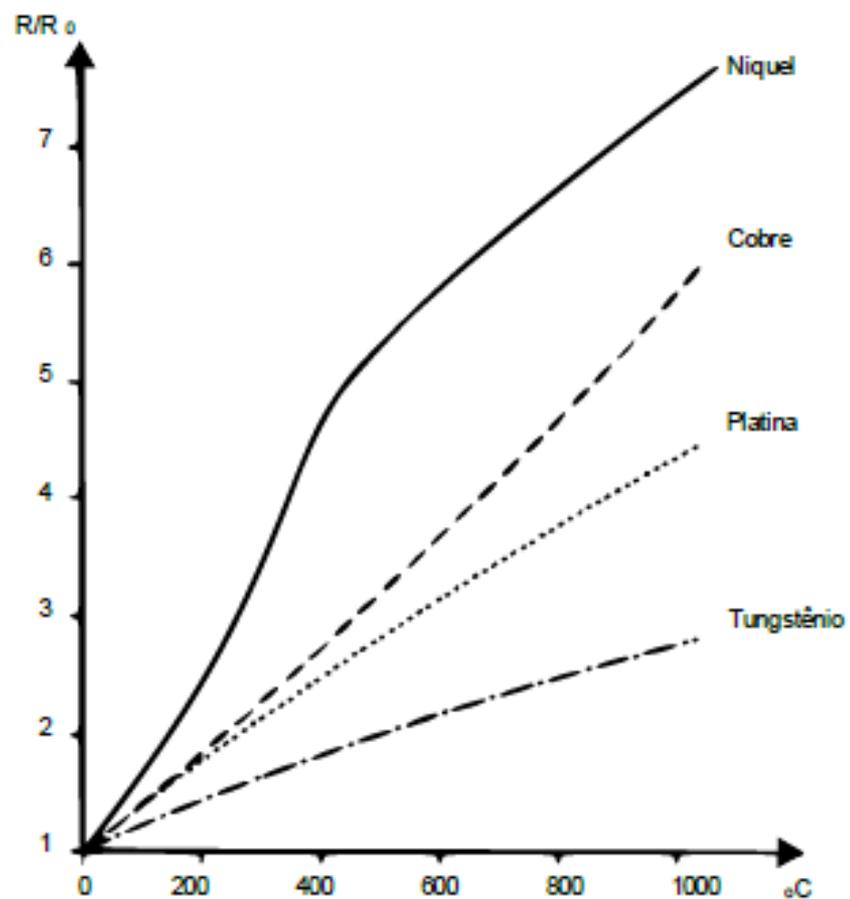
# Termo-resistências

Resistências dependentes da temperatura.

Obtidas normalmente a partir de ligas metálicas.

São lineares, estáveis e possuem coeficiente de temperatura positivo.

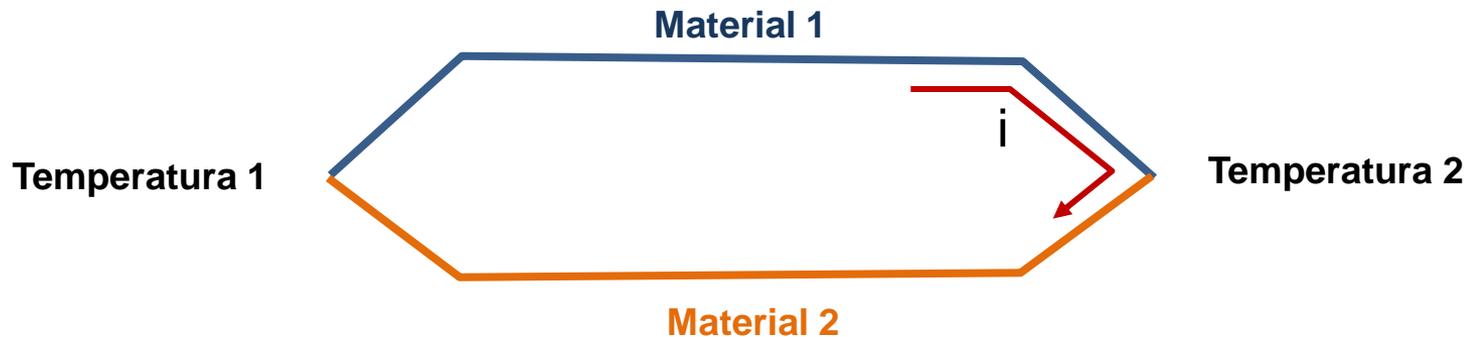
Operam em faixas de temperatura muito maior que a dos termistores



*Measurement & Instrumentation Principles, Alan S Morris, Butterworth Heinemann, 2001*

## Transdutores Termoelétricos

Seebeck (1823): se dois metais diferentes são conectados em um circuito com as junções em temperaturas diferentes, uma corrente flui no mesmo

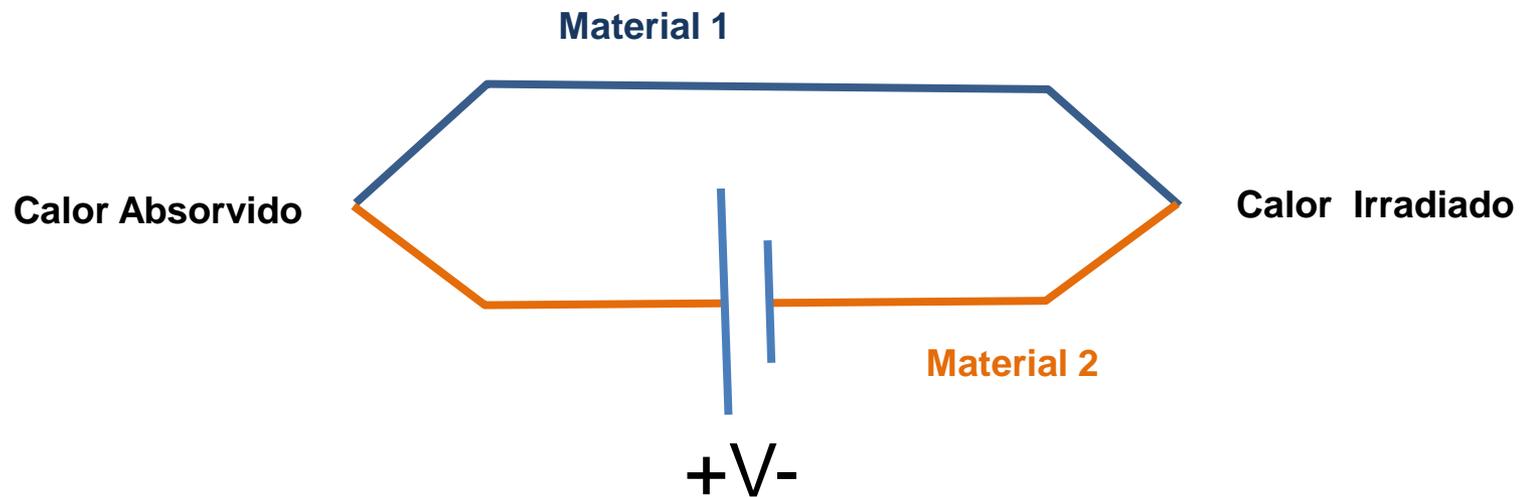


$$T1 < T2$$

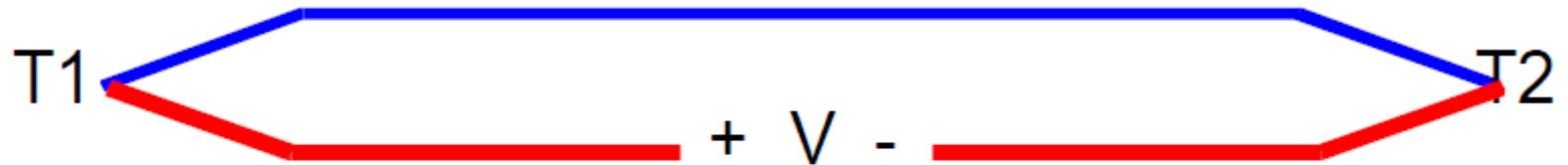
Absorção de calor pela junta fria ( $T1$ ) e liberação de calor pela junta quente ( $T2$ )

A diferença de temperatura entre as duas junções é proporcional à força eletromotriz de Seebeck, responsável pela corrente que circula entre as juntas

Peltier (1834): efeito inverso. Com a introdução de uma bateria no circuito composto por dois metais diferentes, o calor é absorvido em uma das junções e irradiado na outra.



Na sua forma mais simples um termopar tem o seguinte aspecto



A tensão de Seebeck pode ser expressa aproximadamente como

$$V = \alpha \cdot (T_2 - T_1) + \gamma \cdot (T_2^2 - T_1^2)$$

onde  $\alpha$  e  $\gamma$  são constantes associadas do tipo de termopar.

Normalmente o valor de  $\gamma$  não é tão elevado, de modo que para uma boa faixa de temperatura o comportamento pode ser descrito como praticamente linear.

Ref	Material	Faixa	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	Erro
B	Platina 30% Rodio/ Platina 6% Rodio	[0,1800]	3	0,5%
E	Cromel/Constantan	[-200, 1000]	63	$\pm 1,7^\circ\text{C}$ ou 0,5%
J*	Ferro/Constantan	[-200, 900]	53	$\pm 2,2^\circ\text{C}$ ou 0,75%
K*	Cromel/Alumel	[-200,1300]	41	$\pm 2,2^\circ\text{C}$ ou 0,75%
N	Nirosil/Nisil	[-200/1300]	28	
R	Platina/Platina 13%	[0 1400]	6	$\pm 1,5^\circ\text{C}$ ou 0,25%
S	Platina/Platina 10%	[0 1400]	6	$\pm 1,5^\circ\text{C}$ ou 0,25%
T*	Cobre/Constantan	[-200, 400]	43	$\pm 1^\circ\text{C}$ ou 0,75%

Os tipos mais comuns são J, K e T

- Duas configurações para realizar a medida de temperatura com um termopar:
  - ✓ Usando uma temperatura de referência, normalmente um banho de gelo e um voltímetro para obter a tensão de Seebeck e posterior comparação com tabela;
  - ✓ Uso de um indicador de temperatura dedicado (para compensação de temperatura no termopar)

## Classificação dos termopares

Existem várias combinações de condutores para obter termopares com características que atendam às aplicações industriais mais simples, de uso especial ou restrito.

Cada tipo de termopar corresponde a uma aplicação que envolve o tipo de ambiente e faixa de temperatura em que o mesmo será empregado.

### **Termopares do tipo básico**

Podem ser empregados em atmosferas inertes, oxidantes ou redutoras. Acima de 300°C, a oxidação do cobre provoca desvios em sua resposta original.

Ex. Termopar tipo T (Cobre-Constantan).

## Termopares do tipo nobre

São chamados nobres por usarem a platina como elemento básico.

Podem ser empregados em atmosferas inertes, oxidantes ou redutoras a altas temperaturas.

Apresentam estabilidade ao longo do tempo, para altas temperaturas.

Ex: Termopar tipo S (Platina-Rhódio/PtRh 10%).

## **Termopares do tipo especial**

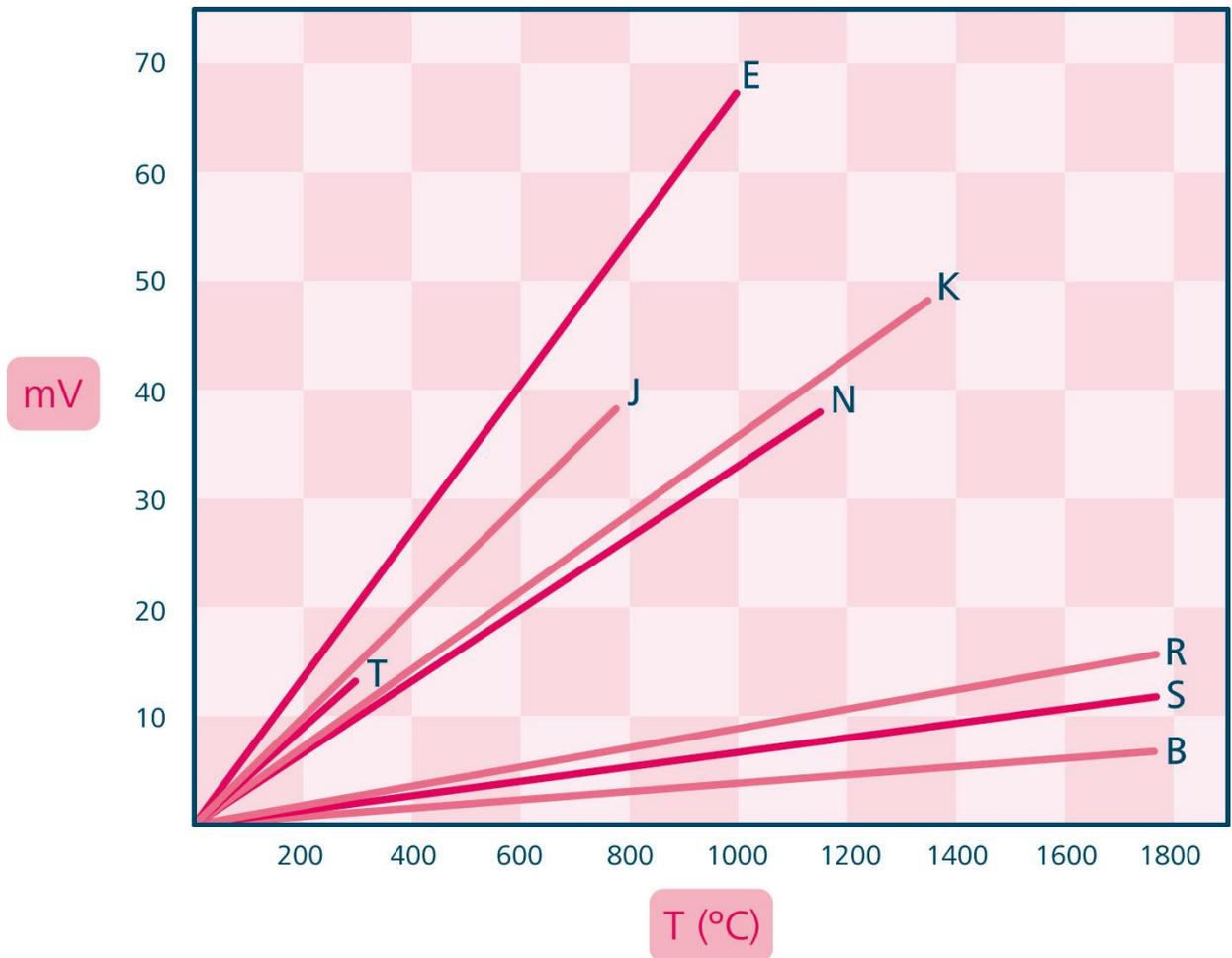
São termopares específicos desenvolvidos para atender a aplicações restritas.

Ex: Termopar com liga (Tungstênio-Rhênio)

## Correlação da tensão gerada em função da temperatura

O termopar apresenta uma correlação de tensão em função da temperatura.

A partir de tabelas definidas na norma ANSI, pode-se plotar curvas de diversos termopares, nas quais são relacionadas as grandezas de tensão gerada (fem) e a temperatura, com a junta de referência do termopar mantida a 0°C.



**Correlação (fem x temperatura) de termopares com a junta de referência a 0°C**

As tabelas definidas em norma para termopares são obtidas mantendo a junta de referência a  $0^{\circ}\text{C}$ . No entanto, na prática, a JR normalmente encontra-se na temperatura ambiente, podendo sofrer variação de temperatura.

Desse modo, é necessário fazer uma correção da JR, a qual poderá ser manual ou automática.

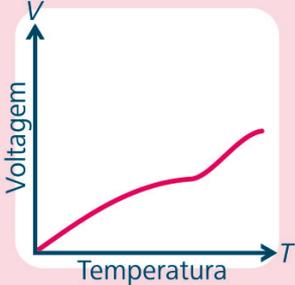
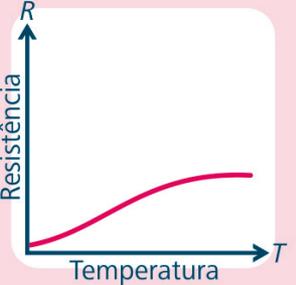
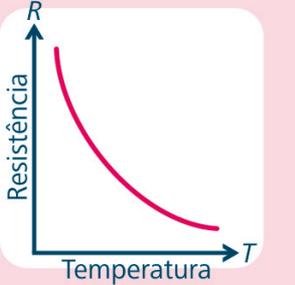
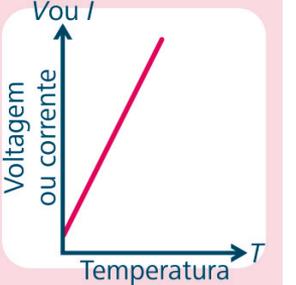
## Associação de termopares

Dois ou mais termopares podem ser associados em função da necessidade de obter adição, subtração ou média aritmética de temperatura, conforme a configuração de associação dos mesmos.

Termopares conectados em série funcionam como pilhas ou fontes em série, ou seja, apresentam tensão nos terminais somadas.

Por outro lado, se for invertida a polaridade, tem-se a subtração das tensões nos seus terminais.

A configuração paralela de termopares ligados a um mesmo instrumento de medição permite que se obtenha a média aritmética das tensões desde que a resistência interna dos termopares seja a mesma.

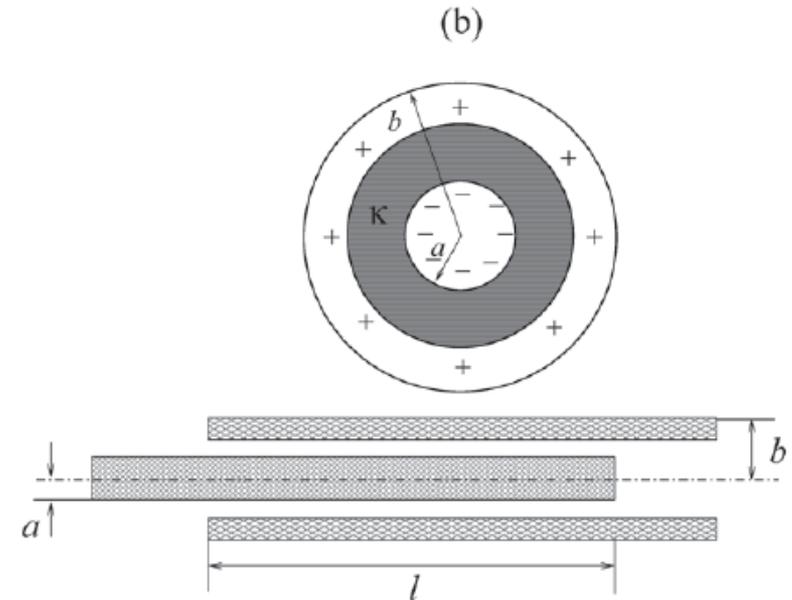
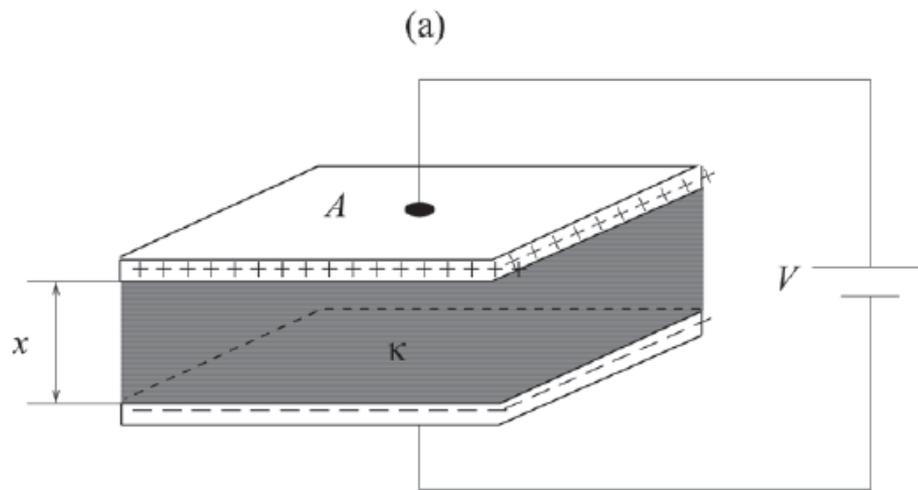
Termopar	RTD	Termistor	CI
			
			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- alimentação própria</li> <li>- simples</li> <li>- robusto</li> <li>- custo baixo</li> <li>- grande variedade</li> <li>- grande faixa de temperatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mais estável</li> <li>- mais preciso</li> <li>- mais linear que o termopar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alta saída</li> <li>- rápido</li> <li>- dois fios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mais linear</li> <li>- mais alta saída</li> <li>- custo baixo</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- não-linear</li> <li>- baixa tensão</li> <li>- requer referência</li> <li>- menos estável</li> <li>- menos sensível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- custo alto</li> <li>- precisa fonte de alimentação</li> <li>- pequeno <math>\Delta R</math></li> <li>- resistência absoluta baixa</li> <li>- auto-aquecimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- não-linear</li> <li>- faixa de temperatura limitada</li> <li>- frágil</li> <li>- necessário fonte de alimentação</li> <li>- auto-aquecimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>T &lt; 200 \text{ }^\circ\text{C}</math></li> <li>- requer fonte de alimentação</li> <li>- lento</li> <li>- auto-aquecimento</li> <li>- configurações limitadas</li> </ul>

# Sensores capacitivos

- Sensores capacitivos são projetados de maneira que a sua capacitância varie com a grandeza a ser medida.
- Capacitância elétrica é a propriedade de determinado dispositivo ou de uma configuração de materiais (condutores) armazenar carga elétrica a dado nível de potencial elétrico.

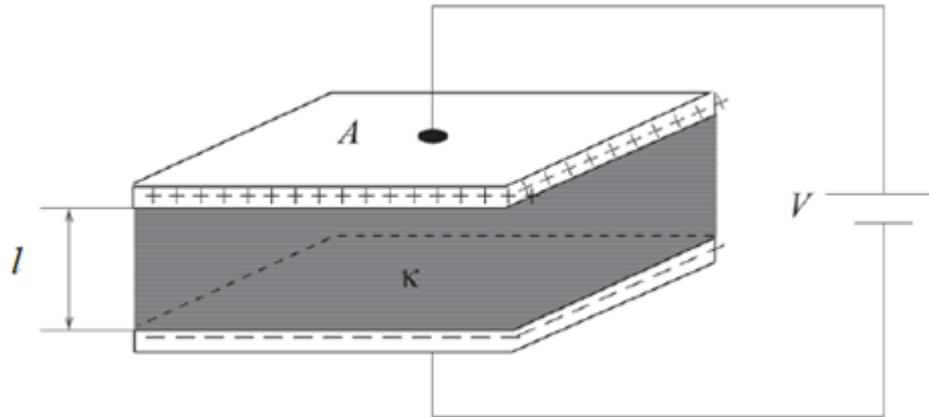
# Sensores capacitivos

- Capacitor de placas paralelas e cilíndrico:



# Sensores capacitivos

- É importante salientar que, para a maioria dos materiais, a temperatura afeta a resistência elétrica muito mais fortemente que a capacitância. Assim, em sensores resistivos, os efeitos espúrios devidos à variação de temperatura são mais significativos que em sensores capacitivos.
- Sensores capacitivos geralmente devem ser blindados para não sofrerem o efeito de campo elétrico externo ao dispositivo. Por outro lado, tais sensores não produzem campos elétricos intensos e, portanto, em geral, não interferem com outros componentes de circuitos próximos.



Capacitor de placas paralelas

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  é a permissividade do ar

$K\varepsilon_0$  é a permissividade do material

$A$  é a áreas das placas

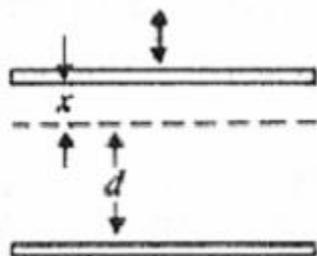
$l$  é a distância entre as placas

$$C = A \frac{K\varepsilon_0}{l}$$

Qualquer arranjo que modifique  $A$ ,  $l$  ou  $K$  pode ser transformado em um transdutor capacitivo. Vários arranjos são possíveis.

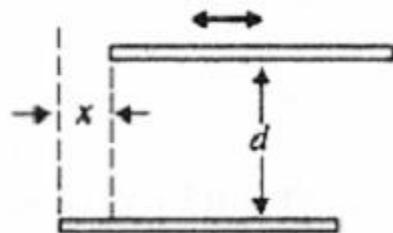
# Transdutores capacitivos

- Configurações (I)



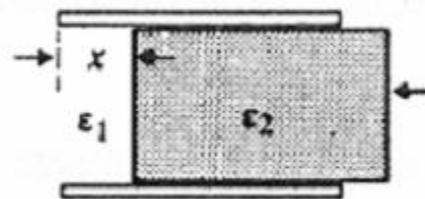
Variable separation

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon A}{d + x}$$



Variable area

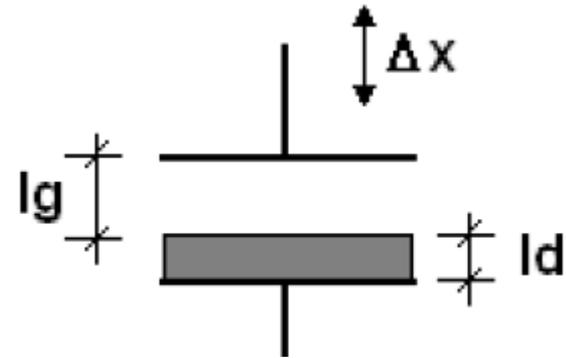
$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{d} (A - wx)$$



Variable dielectric

$$C = \frac{\epsilon_0 w}{d} (\epsilon_2 l - (\epsilon_2 - \epsilon_1)x)$$

## *Varição de Posição*



A capacitância do *gap* é dada por

$$C_g = \frac{A \cdot \epsilon_0}{l_g}$$

Por sua vez a capacitância do dielétrico pode ser escrita como

$$C_d = A \cdot \frac{K \cdot \epsilon_0}{l_d}$$

Uma vez que as duas capacitâncias estão em série a capacitância equivalente é calculada como

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_d} + \frac{1}{C_g}}$$

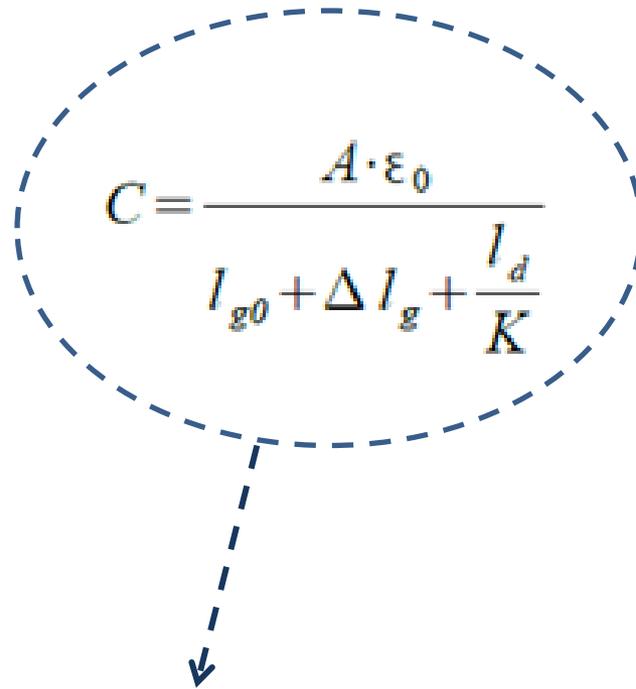
$$C_0 = \frac{\frac{A \cdot K \cdot \epsilon_0}{l_d} \cdot \frac{A \cdot \epsilon_0}{l_g}}{\frac{A \cdot K \cdot \epsilon_0}{l_d} + \frac{A \cdot \epsilon_0}{l_g}}$$

$$C_0 = \frac{\frac{A^2 \cdot K \cdot \epsilon_0^2}{l_d \cdot l_g}}{\frac{A \cdot \epsilon_0 \cdot (K \cdot l_g + l_d)}{l_d \cdot l_g}}$$

$$C_0 = \frac{A \cdot \epsilon_0}{l_g + \frac{l_d}{K}}$$

Considerando que o *gap* sofre pequenas variações em torno de um ponto central de repouso

$$l_g = l_{g0} + \Delta l_g$$


$$C = \frac{A \cdot \epsilon_0}{l_{g0} + \Delta l_g + \frac{l_d}{K}}$$

Equação da capacitância em função de variações do tamanho do gap

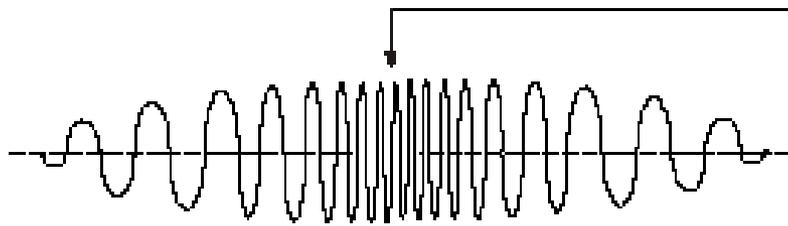


75. Exemplo de um sensor capacitivo por tipo de material.

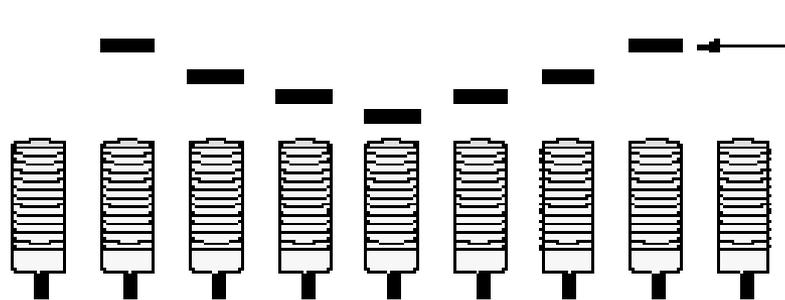


Transdutores de pressão com sensores capacitivos



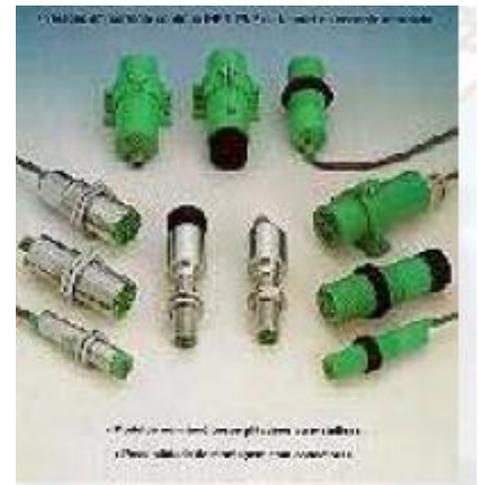


O oscilador se movimenta na amplitude e frequência máximas



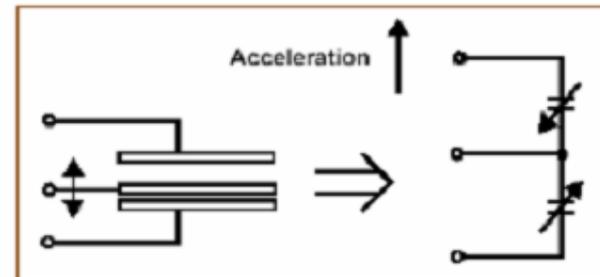
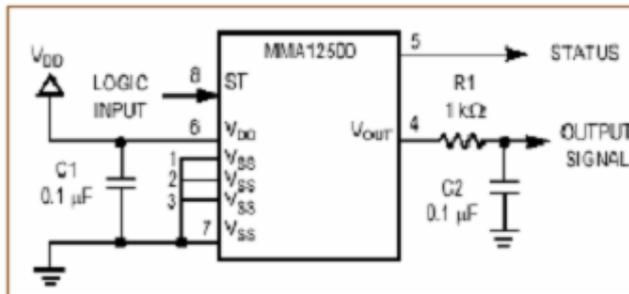
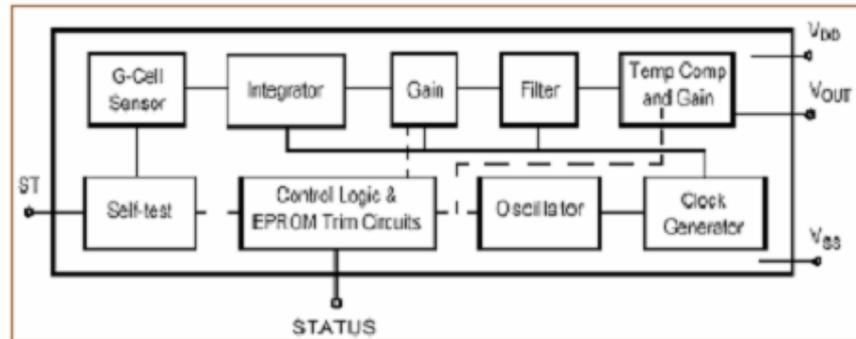
Posição do Objeto

Sensor



# Transdutores capacitivos

- Exemplos
  - acelerômetro  $\pm 5g$



# Sensores indutivos

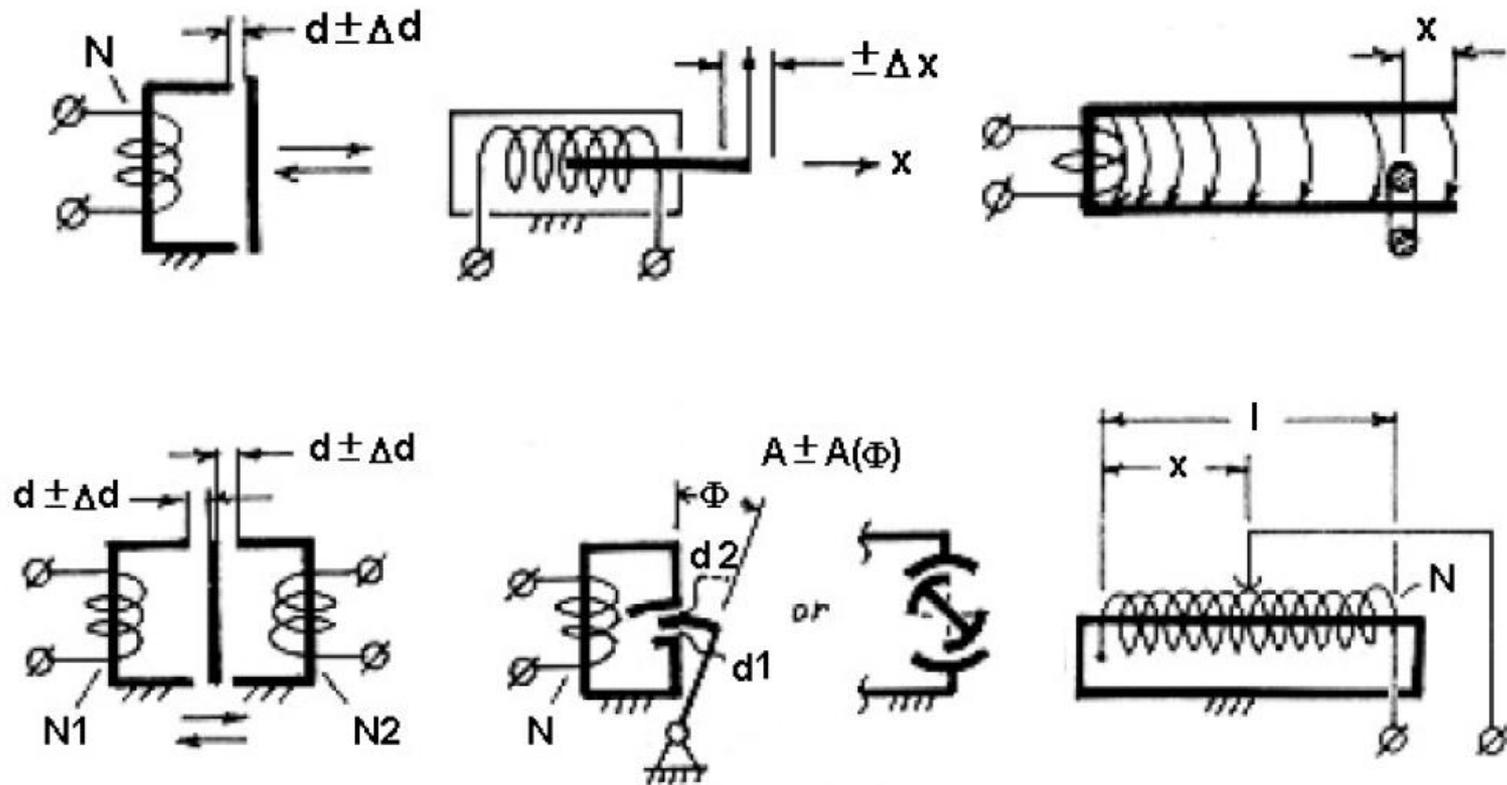
- Indutância elétrica é a propriedade de determinada configuração condutora, por exemplo, uma bobina, produzir campo magnético quando percorrida por uma corrente. Em circuitos, a indutância opõe-se à variação da corrente, que se dá por meio do aparecimento de uma força eletromotriz (FEM).

Um indutor com enrolamento cilíndrico apresenta indutância definida por

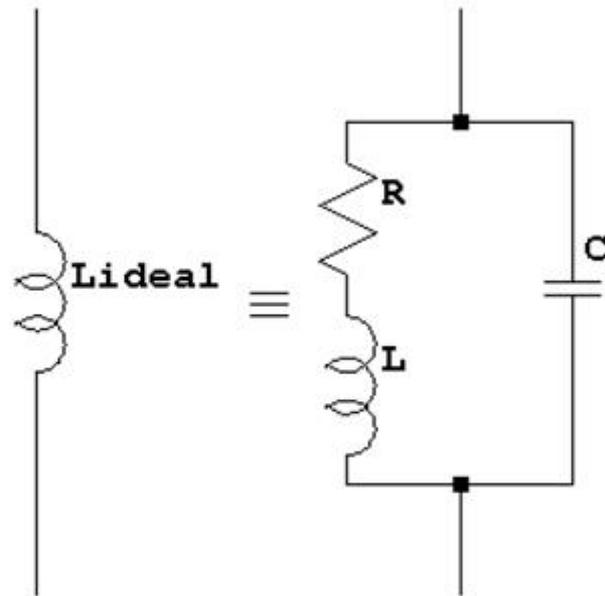
$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A}{l}$$

onde  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \times 10^{-7} \text{ H / m}$  é a permissividade do espaço livre,  $\mu_r$  é a permeabilidade relativa,  $N$  é o número de espiras,  $A$  é a área de secção reta do núcleo,  $l$  é o comprimento do núcleo.

Outras formas geométricas apresentam indutância dependente de outras variáveis. De qualquer forma um número expressivo de arranjos permitem a construção de transdutores indutivos, baseados na alteração de  $\mu_r$ ,  $N$ ,  $A$  ou  $l$ .



modelo para um indutor real

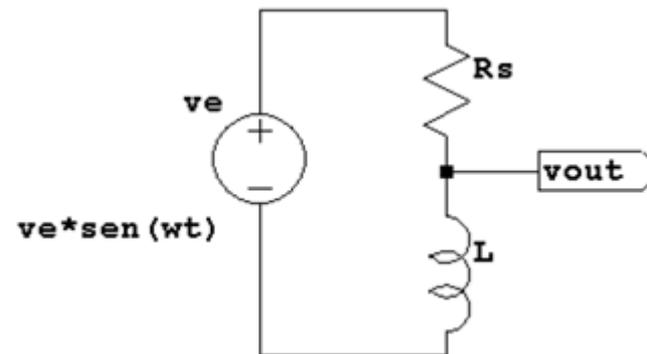
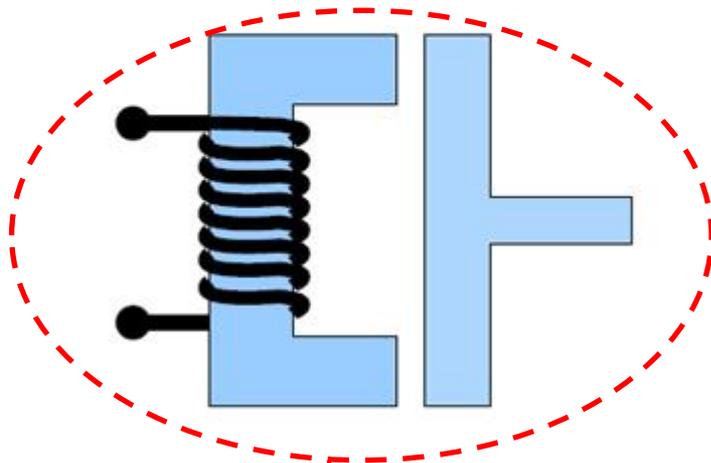


onde  $R$  modela as perdas resistivas do fio, as perdas de corrente de fuga pelo núcleo e também as perdas de histerese e  $C$  modela a capacitância parasita associada ao enrolamento.

frequência de ressonância  $\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$

$$\frac{\partial L_{eq}}{L_{eq}} = \frac{\partial L}{L} \cdot \frac{1}{(1 - \omega^2 \cdot L \cdot C)}$$

## Transdutores com uma bobina



Se  $R_s \gg \omega \cdot L$ , então

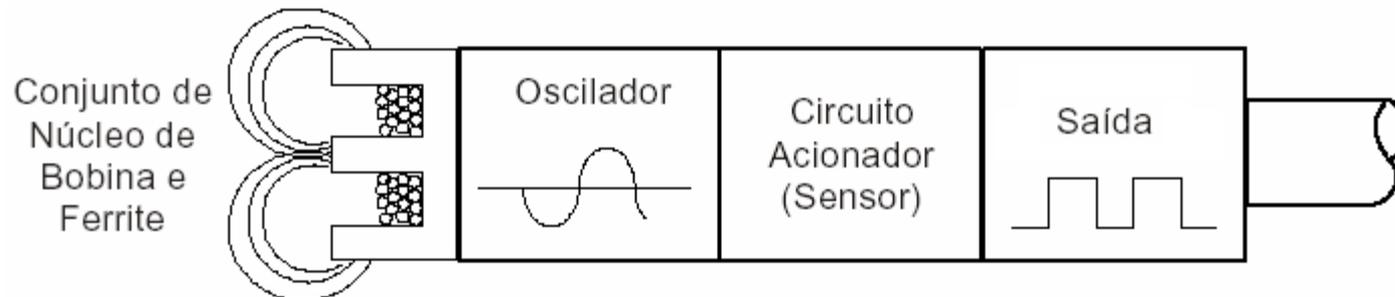
$$v_{out} = \frac{v_e}{R_s} \cdot \omega \cdot L$$

Variação na indutância causa variação na tensão de saída, preservando a frequência original



# Estrutura do Sensor de Proximidade Indutivo:

- Conjunto de Núcleo de Bobina e Ferrite
- Oscilador
- Circuito acionador
- Circuito de saída



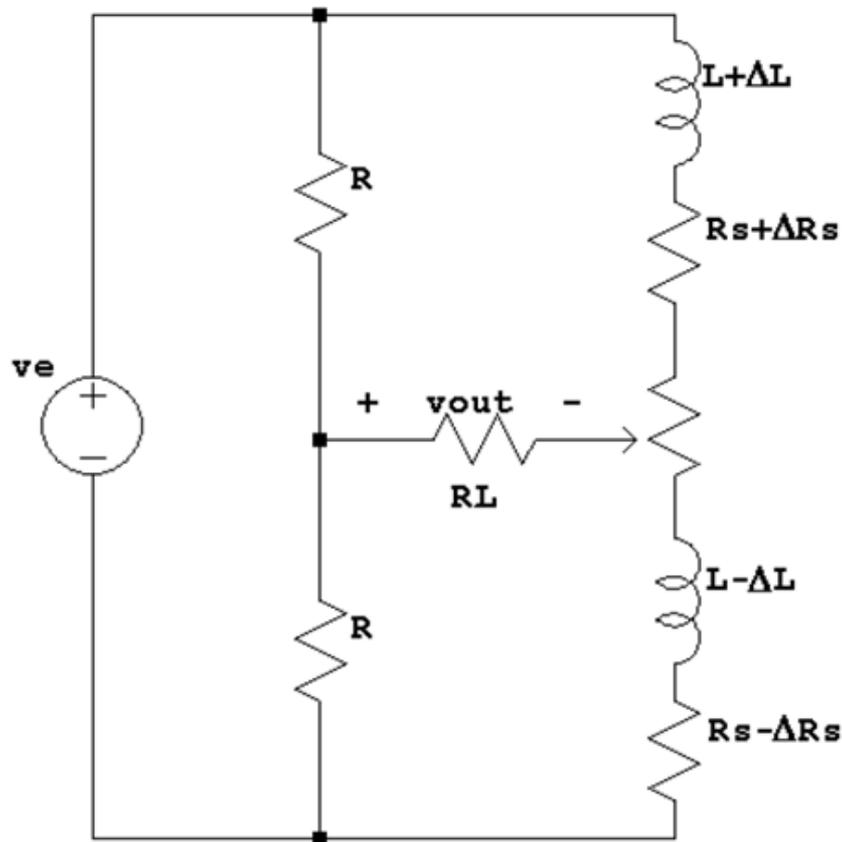
# Fatores de correção:



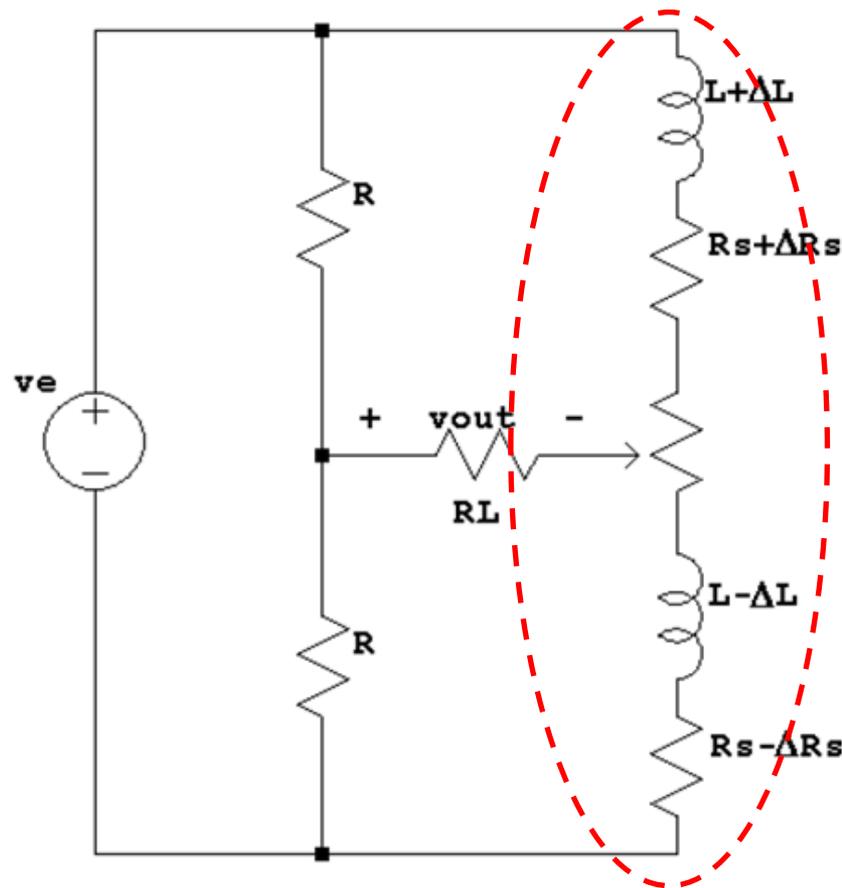
Distância Operacional Máxima  
(Ponto Detectado)

## Transdutores com dois Indutores

Circuito mais comum: Ponte de Wheatstone com Excitação AC



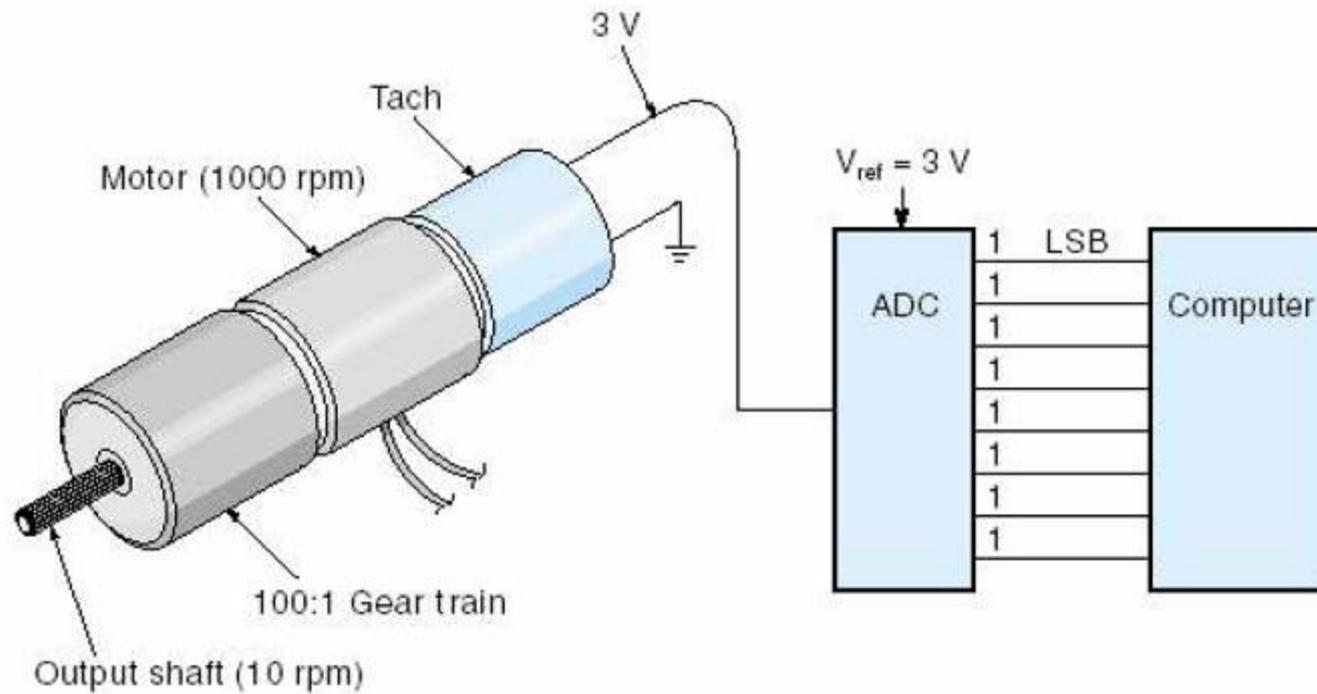
# Transdutores com dois Indutores - Ponte de Wheatstone com Excitação AC



Arranjo de indutores com variações opostas de indutância

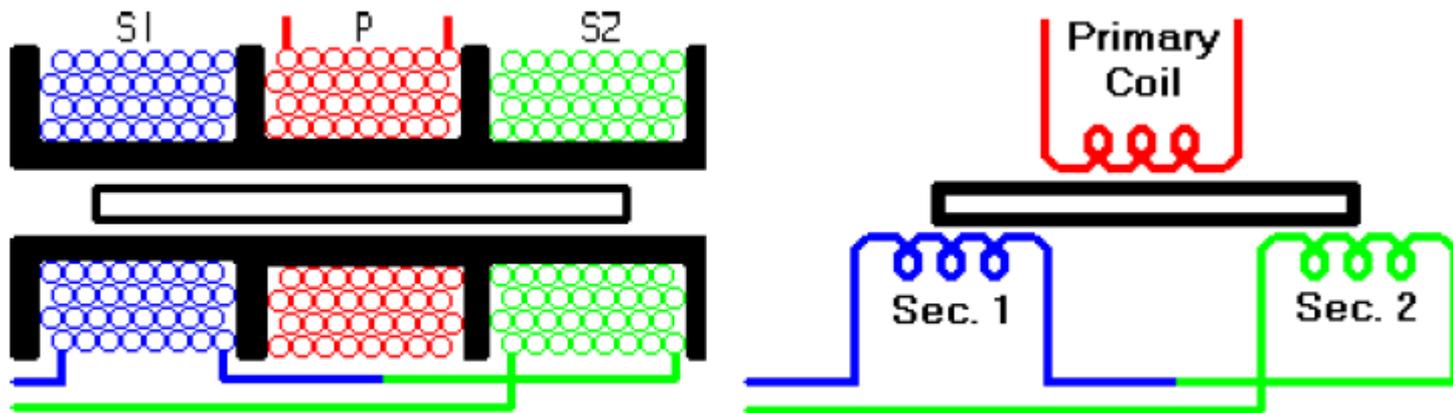


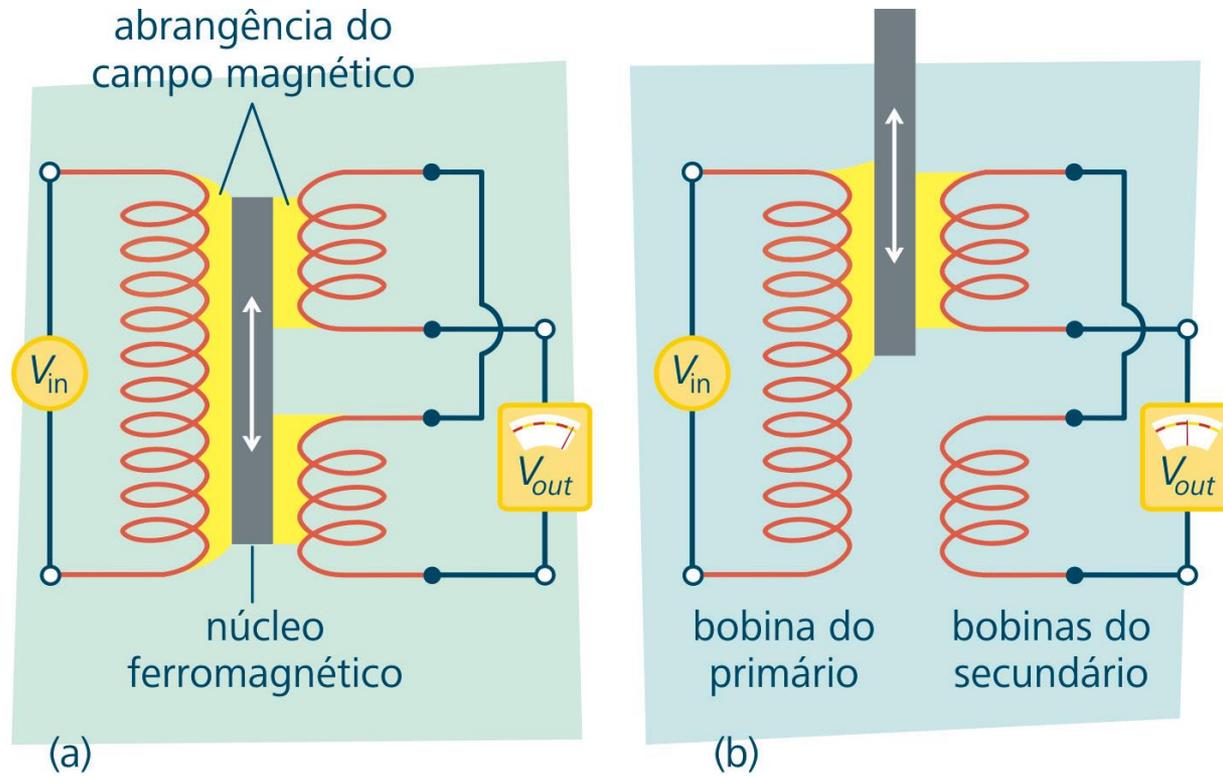
## Tacômetro DC



## Transdutores com três Indutores – LVDT (linear variable differential transformer)

Transformador com acoplamento magnético variável produzido pelo movimento de núcleo ferromagnético colocado entre os indutores.





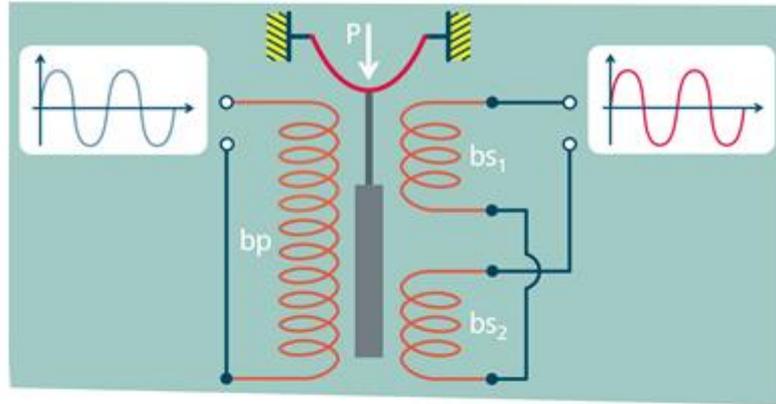
Os sensores LVDT apresentam a possibilidade de medir várias faixas de deslocamentos, com sensibilidade de 100mV/cm a 40 mV/mm.

São vantagens do LVDT o custo relativamente baixo, dispositivos sólidos e robustos que apresentam grande vida útil.

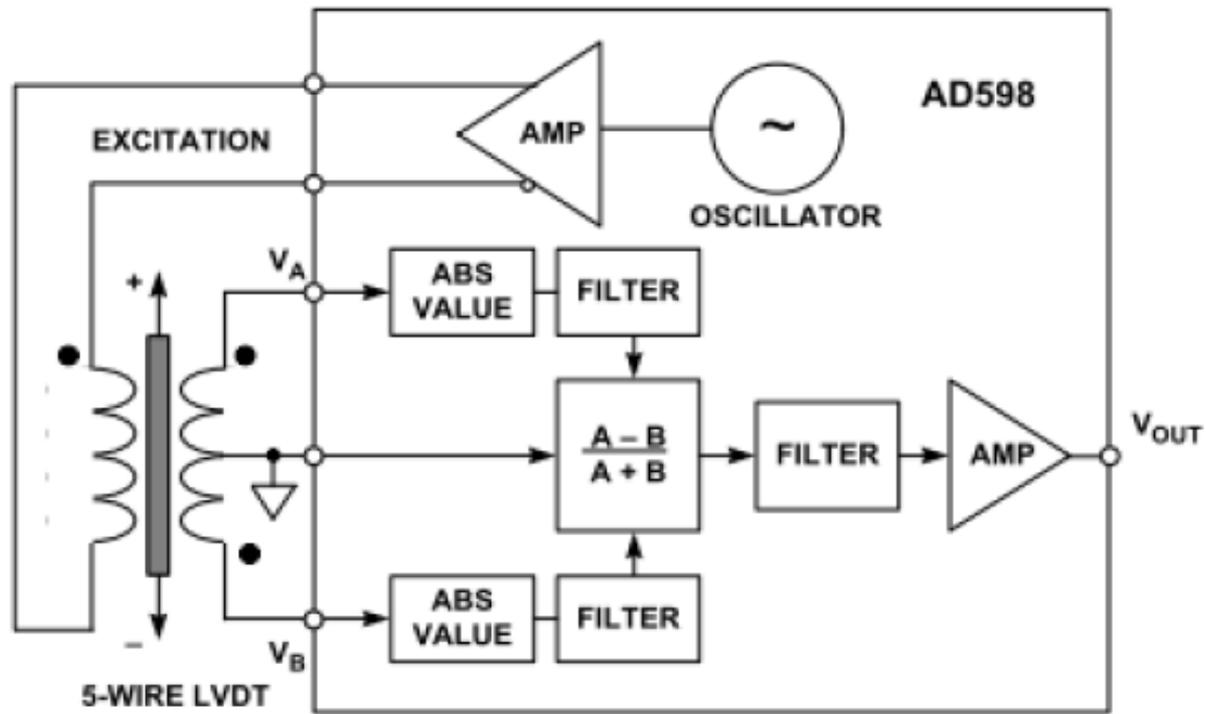
Uma das principais desvantagens do LVDT é o núcleo estar obrigatoriamente em contato com a superfície para medir o deslocamento.

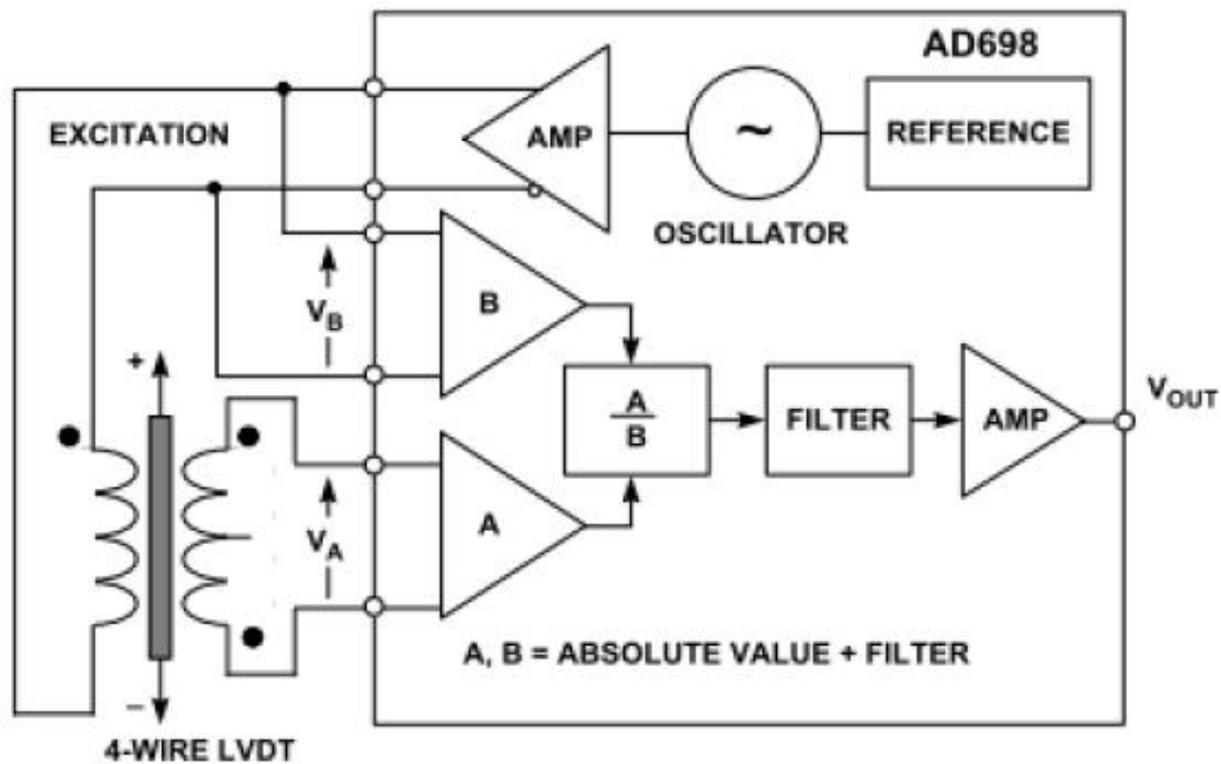
O LVDT é aplicado em deslocamentos, deflexão de vigas, variação de espessuras de peças, nível de fluido (posição de cilindros hidráulicos) e em velocidade de aceleração (suspensão automotiva).

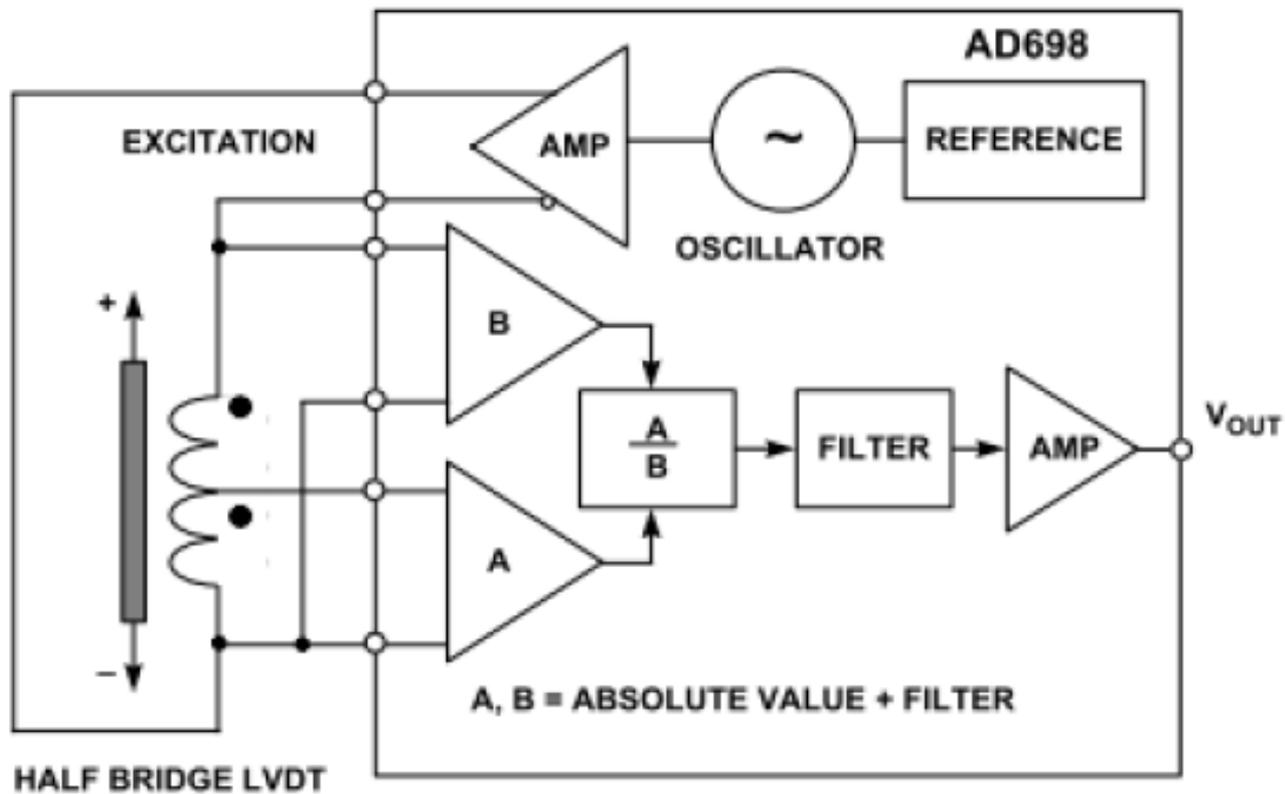
O LVDT é usado também em posicionadores de precisão (máquinas, ferramentas, CNC e robôs industriais).



**Medida de pressão:**



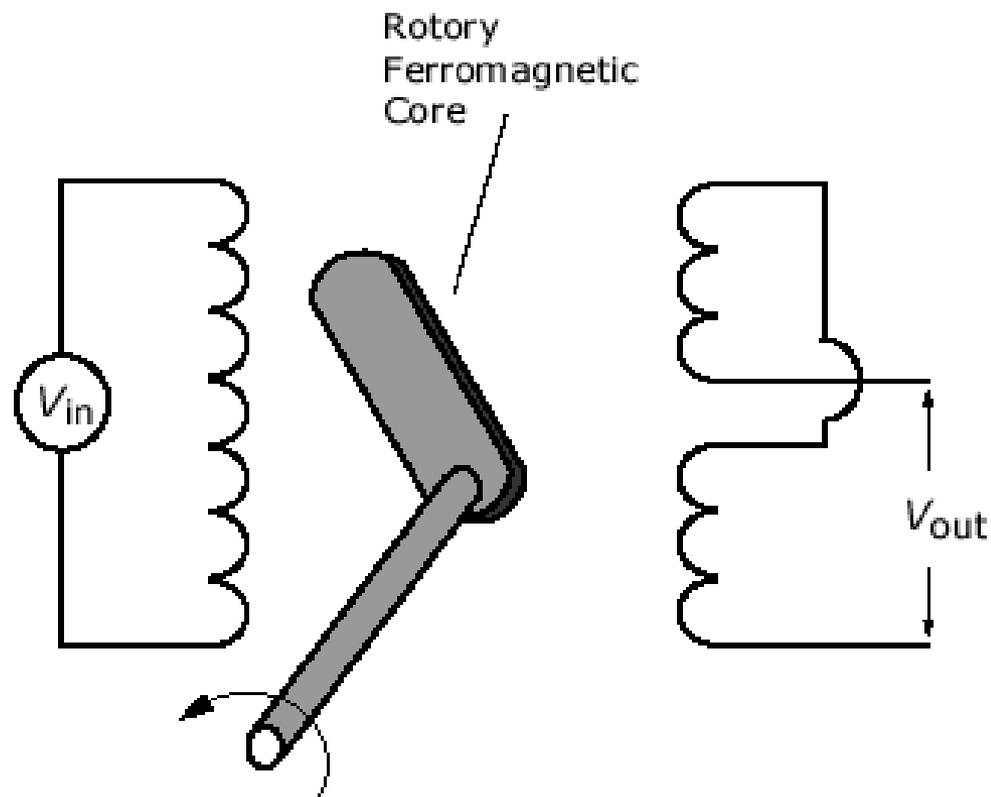




## Transformador rotacional diferencial variável (RVDT)

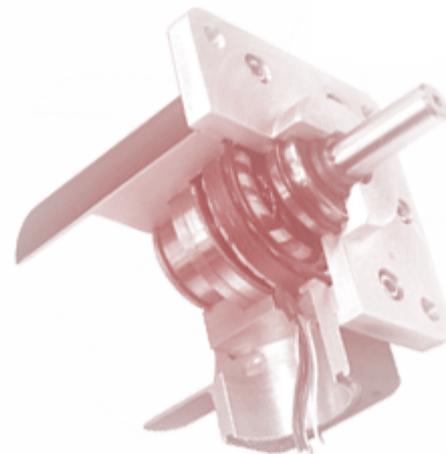
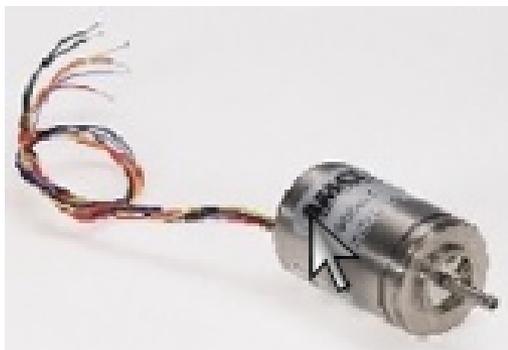
O RVDT é um sensor eletromecânico que proporciona uma saída de tensão CA proporcional ao deslocamento angular de seu eixo.





# Resolver

- Sensor de ângulo, analógico, cuja saída é proporcional ao ângulo que um elemento de rotação faz em relação a um elemento fixo



# Sensores piezoelétricos

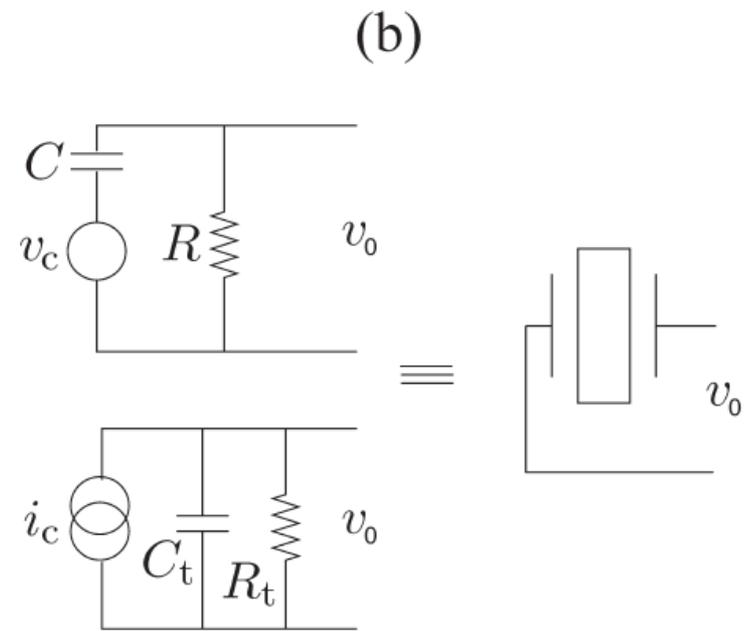
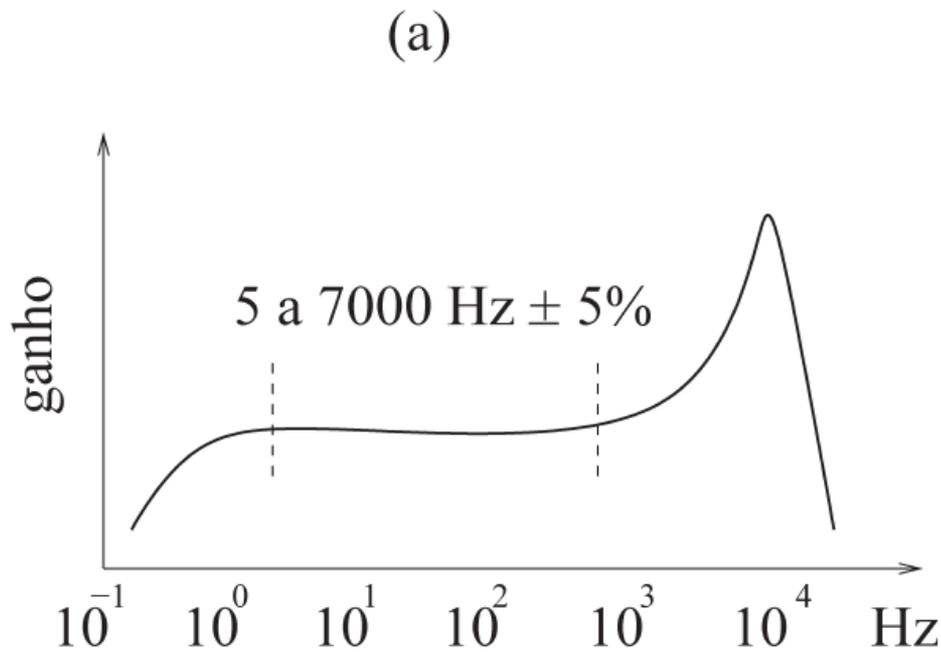
- O efeito piezoelétrico manifesta-se pelo aparecimento de uma diferença de potencial entre faces opostas de um cristal quando este é deformado.
- A origem do efeito piezoelétrico é o desequilíbrio de cargas elétricas na estrutura do cristal mediante deformação. Ao ser deformado, entretanto, as cargas de uma polaridade concentram-se de um lado da estrutura molecular do material, enquanto as cargas de polaridade invertida tendem a concentrar-se na face oposta, resultando em uma diferença de potencial entre as referidas faces.

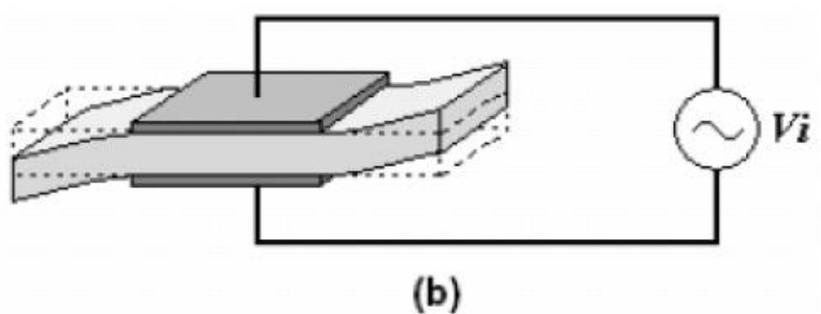
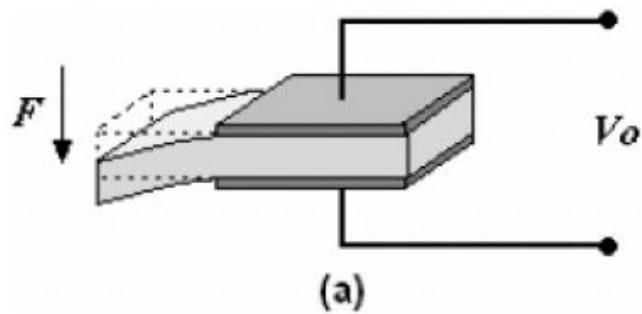
# Sensores piezoelétricos

- O fenômeno piezoelétrico é sensível à direção, pois, se em vez de comprimir o material, ele for distendido, o movimento das cargas na sua estrutura molecular será oposto, resultando em uma diferença de potencial com polaridade invertida.

# Sensores piezoelétricos

- Transdutores piezoelétricos:





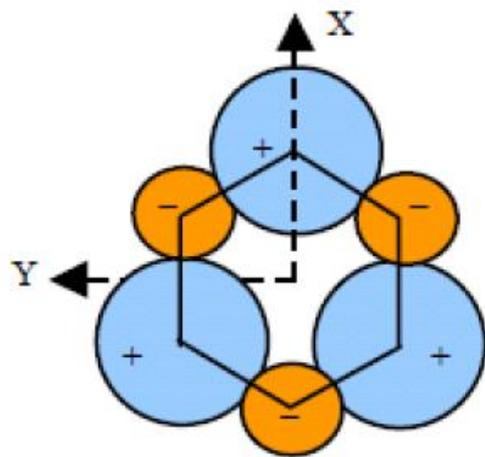
- Transdutores piezoelétricos:

## Piezoelasticidade

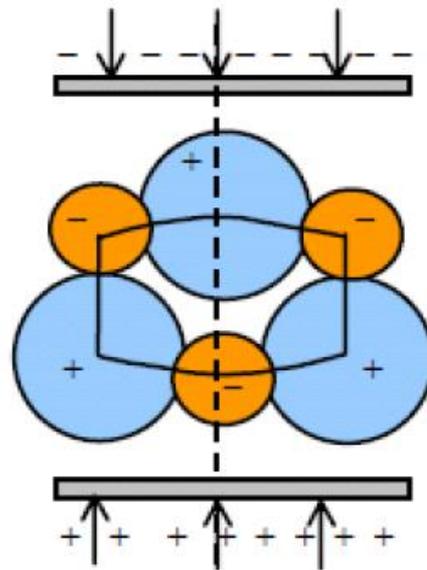
Fenômeno associado à geração de cargas elétricas na superfície de um material quando a ele é aplicada uma tensão mecânica capaz de deformá-lo ou à correspondente mudança da forma do material quando uma certa tensão elétrica é aplicada em sua superfície



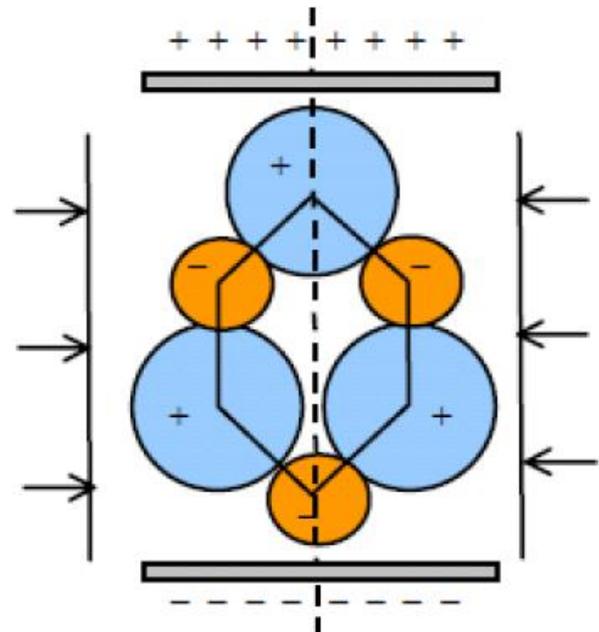
É uma forma de converter energia mecânica em energia elétrica e vice-versa



Célula Neutra



Célula com carga em X



Célula com carga em Y

- Exemplo de materiais piezoelétricos:

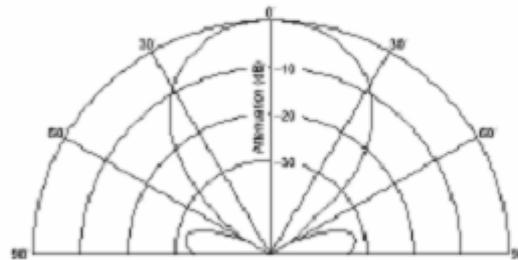
Quartzo, turmalina

# Transdutores piezo-elétricos

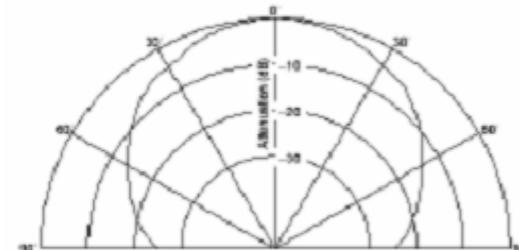
- Elemento piezo-elétrico:



MA40B8R

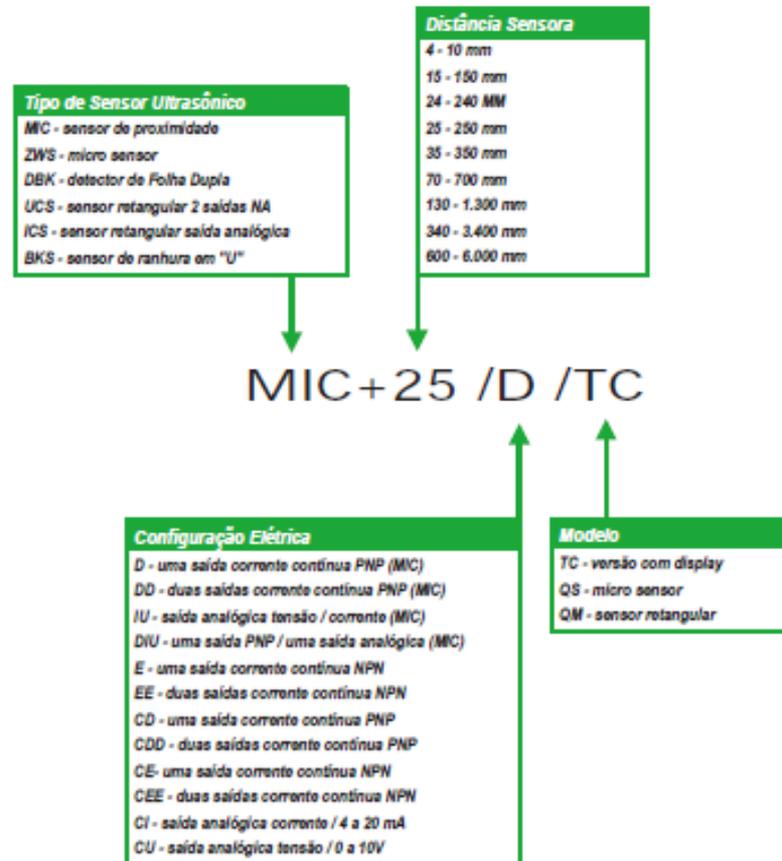


MA40S4R



Part Number	Construction	Using Method	Nominal Freq. (kHz)	Overall Sensitivity (mVp-p)	Sensitivity (dB)	S.P.L. (dB)	Directivity (°)	Cap. (pF)	Operating Temp. Range (°C)	Detectable Range (m)	Resolution (mm)	Max. Input Voltage (Vp-p)
MA40B8R	Open struct.	Receiver	40	-	-63 typ. (0dB=10W/Pa)	-	50	2000	-30 to 85	0.2 to 6	9	-
MA40B8S	Open struct.	Transmitter	40	-	-	120 typ. (0dB=0.02mPa)	50	2000	-30 to 85	0.2 to 6	9	40 Continuous signal

# Sensores de Ultrassom



**M30**

Distância 250 mm  
Corrente Contínua  
Display 3 dígitos  
Saída Digital  
e Analógica

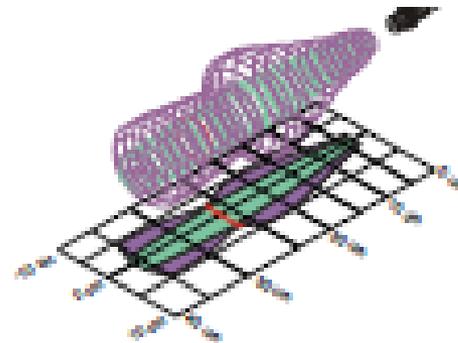
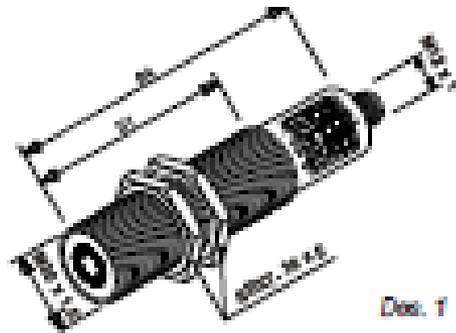


	MIC+25/D/TC	MIC+25/DD/TC	MIC+25/IU/TC	MIC+25/DIU/TC
Tipo de saída	Digital	Digital	Analógica	Digital / Analógica
Desenho / Diagrama	1 / D	1 / DD	1 / IU	1 / DIU
Distância sensora	250 mm	250 mm	250 mm	250 mm
Distância máxima	350 mm	350 mm	350 mm	350 mm
Zona morta	30 mm	30 mm	30 mm	30 mm
Frequência do transdutor	320 KHz	320 KHz	320 KHz	320 KHz
Histerese / Repetibilidade	2,5 mm / ± 0,15 %	2,5 mm / ± 0,15 %	2,5 mm / ± 0,15 %	2,5 mm / ± 0,15 %
Resolução / Drift térmico	0,18 mm / < 2 % / K	0,18 mm / < 2 % / K	0,18 mm / < 2 % / K	0,18 mm / < 2 % / K
Tensão de alimentação / Apêlo	9 a 30 Vcc / ± 10%	9 a 30 Vcc / ± 10%	9 a 30 Vcc / ± 10%	9 a 30 Vcc / ± 10%
Corrente máx. de consulta	200 mA	200 mA	200 mA	200 mA (saída digital)
Corrente de consumo	≤ 80 mA	≤ 80 mA	≤ 80 mA	≤ 80 mA
Saída digital	PNP	PNP duplo	-	PNP
Saída analógica	-	-	0 a 10 V ou 4-20 mA (automático)	0 a 10V ou 4-20mA(automático)
Impedância carga analógica	-	-	250Ω a 1,2kΩ / tensão > 2kΩ	250Ω a 1,2kΩ / tensão > 2kΩ
Frequência máx. / tempo resp.	11 Hz / 50 ms	11 Hz / 50 ms	50 ms	11 Hz / 50 ms
Proteção	curto circuito e inversão	curto circuito e inversão	curto circuito e inversão	curto circuito e inversão
Sinalização (leds tricolor)	aliment., saída e program.	aliment., saída e program.	aliment., saída e program.	aliment., saída e program.
Programação de saída digital	NA ou NF	NA ou NF	-	NA ou NF
Programação de saída analógica	-	-	crescente / decrescente	crescente / decrescente
Modo de programação	via botões ou por software	via botões ou por software	via botões ou por software	via botões ou por software
Programação via software	Link Control (não incluso)	Link Control ( não incluso )	Link Control ( não incluso )	Link Control ( não incluso )
Temperatura de operação	-25°C a + 70°C	-25°C a + 70°C	-25°C a + 70°C	- 25°C a + 70°C
Conexão	via conector M12 - 5 pinos	via conector M12 - 5 pinos	via conector M12 - 5 pinos	via conector M12 - 5 pinos
Involúcro	latão cromado / frente PBT	latão cromado / frente PBT	latão cromado / frente PBT	latão cromado / frente PBT
Grau de proteção / Peso	IP 67 / 150 g	IP 67 / 150 g	IP 67 / 150 g	IP 67 / 150 g

Nota: Solicitar conector PL V10 para fixação dos sensores MIC

Configuração de Saída	Conector	Software

**Dimensões Mecânicas**



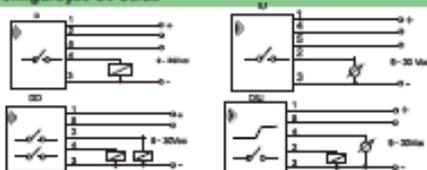
**M30**

Distância 3400 mm  
Corrente Contínua  
Display 3 dígitos  
Saída Digital  
e Analógica

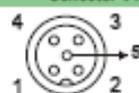


	MIC+340/D/TC	MIC+340/DD/TC	MIC+340/IU/TC	MIC+340/DIU/TC
Tipo de saída	PNP	2 x PNP	Analógica	Digital / Analógica
Desenho	4 / D	4 / DD	4 / IU	4 / DIU
Distância sensora	3400 mm	3400 mm	3400 mm	3400 mm
Distância máxima	5000 mm	5000 mm	5000 mm	5000 mm
Zona morta	350 mm	350 mm	350 mm	350 mm
Frequência do transdutor	120 KHz	120 KHz	120 KHz	120 KHz
Histerese / Repetibilidade	2,5 mm / ± 0,15 %	2,5 mm / ± 0,15 %	2,5 mm / ± 0,15 %	2,5 mm / ± 0,15 %
Resolução / Diff. térmico	0,18 mm / < 2 % / K	0,18 mm / < 2 % / K	0,18 mm / < 2 % / K	0,18 mm / < 2 % / K
Tensão de alimentação / ripple	9 a 30 Vcc / ± 10%	9 a 30 Vcc / ± 10 %	9 a 30 Vcc / ± 10 %	9 a 30 Vcc / ± 10 %
Corrente máx. de consultação	200 mA	200 mA	-	200 mA (saída digital)
Corrente de consumo	≤ 80 mA	≤ 80 mA	≤ 80 mA	≤ 80 mA
Saída digital	PNP	PNP duplo	-	PNP
Saída analógica	-	-	0 a 10 V ou 4-20 mA (automático)	0 a 10V ou 4-20mA(automático)
Impedância carga analógica	-	-	250Ω a 1,2kΩ / tensão: >2kΩ	250Ω a 1,2kΩ / tensão: >2kΩ
Frequência máx. / tempo resp.	3 Hz / 180 ms	3 Hz / 180 ms	180 ms	3 Hz / 180 ms
Proteção	curto circuito e inversão	curto circuito e inversão	curto circuito e inversão	curto circuito e inversão
Sinalização (leds tricolor)	aliment., saída e program.	aliment., saída e program.	aliment., saída e program.	aliment., saída e program.
Programação de saída digital	NA ou NF	NA ou NF	-	NA ou NF
Programação de saída	-	-	crescente / decrescente	crescente / decrescente
Modo de programação	via botões ou por software	via botões ou por software	via botões ou por software	via botões ou por software
Programação via software	Link Control ( não incluso )	Link Control ( não incluso )	Link Control ( não incluso )	Link Control ( não incluso )
Temperatura de operação	-25° C a + 70° C	-25° C a + 70° C	-25° C a + 70° C	-25° C a + 70° C
Conexão	via conector M12 - 5 pinos	via conector M12 - 5 pinos	via conector M12 - 5 pinos	via conector M12 - 5 pinos
Involúcro	látex cromado / frente PBT	látex cromado / frente PBT	látex cromado / frente PBT	látex cromado / frente PBT
Grau de Proteção / Peso	IP 67 / 210 g	IP 67 / 210 g	IP 67 / 210 g	IP 67 / 210 g

**Configuração de Saída**



**Conector V15**



**Cor dos Cabos**

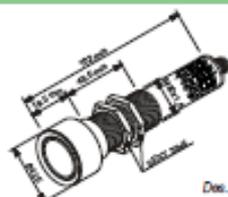
MR - marrom / AZ - azul  
PR - preto / BR - branco

**Software**

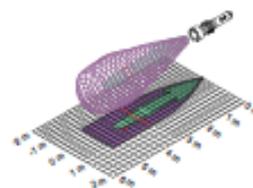


Link Control - software de configuração do sensor para PC, com adaptador para porta RS 232.

**Dimensões Mecânicas**



Des. 4

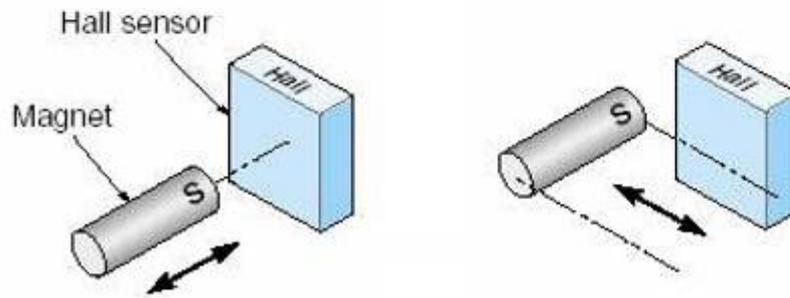


# Transdutores de campo magnético

- Sensores a efeito Hall

Efeito *Hall*: alguns materiais como o cobre, germânio e índio produzem uma voltagem na presença de um campo magnético.

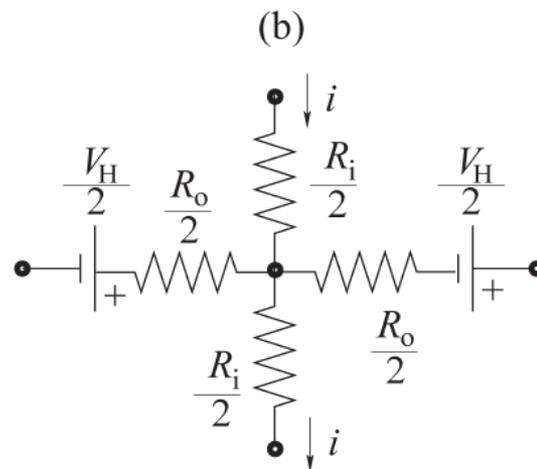
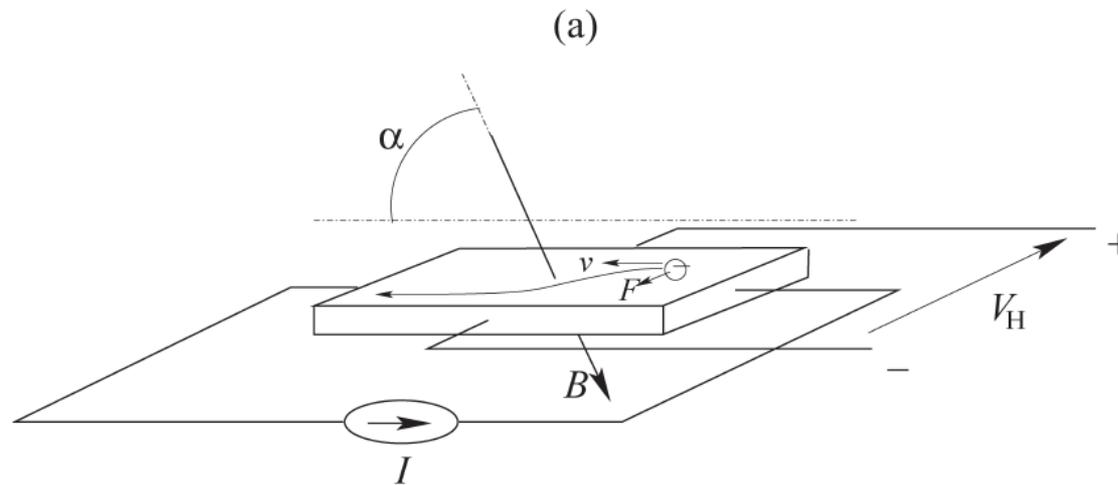
Sensores de proximidade por efeito *Hall*



# Sensores de efeito Hall

- Para entender esse efeito, deve-se lembrar que uma carga em movimento em meio a um campo magnético sofre a ação de uma força, chamada força de Lorentz.
- À medida que cargas negativas (em movimento) se acumulam de um lado do material, aparecerá um campo elétrico que também exercerá uma força sobre as cargas, mas em direção oposta à força de Lorentz.
- Conseqüentemente, haverá um equilíbrio de forças e a diferença de potencial resultante não aumentará indefinidamente. Essa diferença de potencial é conhecida como diferença de potencial transversal de Hall.

# Sensores de efeito Hall

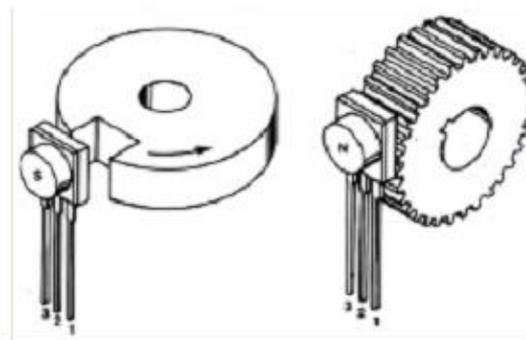
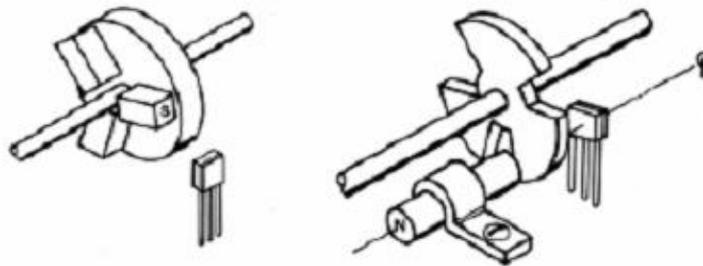


# Sensores de efeito Hall

- A diferença de potencial transversal de Hall é relativamente baixa para metais, porém nos semicondutores ela é mais alta. Portanto, muitos dos sensores de efeito Hall comercialmente disponíveis são semicondutores.
- Outro fenômeno relacionado ao efeito Hall é o efeito magnetorresistivo, que altera a resistência elétrica de materiais condutores e semicondutores em função do campo magnético no qual os materiais encontram-se.

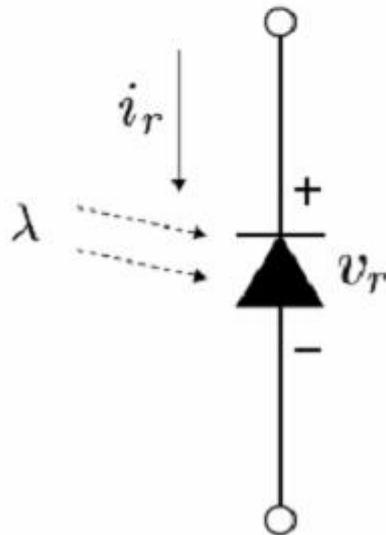
# Transdutores de campo magnético

- Sensores a efeito Hall: Exemplos de aplicação



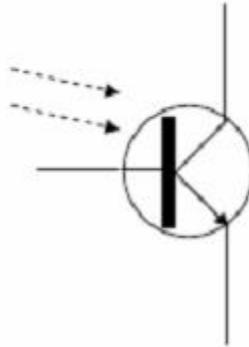
# Transdutores opto-eletrônicos

- Fotodiodo



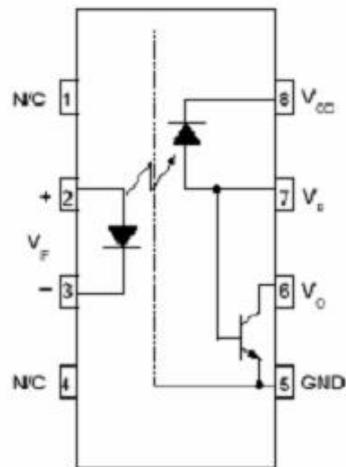
# Transdutores opto-eletrônicos

- Fototransistor



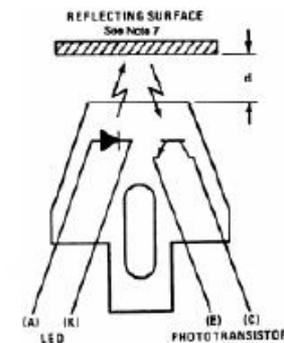
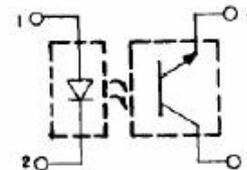
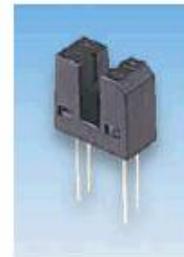
# Transdutores opto-eletrônicos

- Opto-acopladores



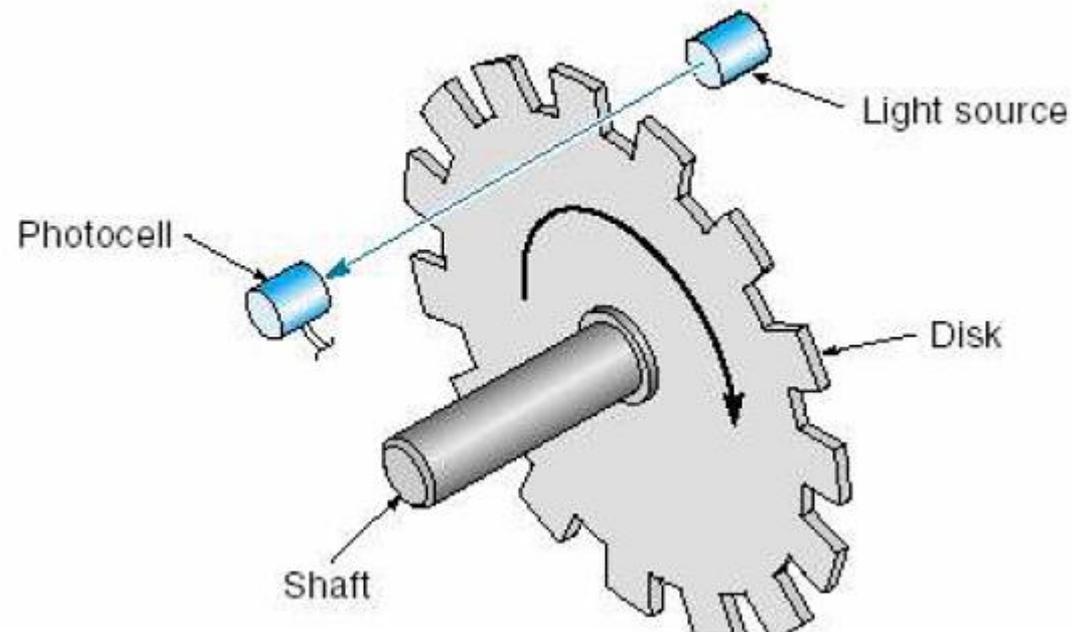
6N136

- Chaves ópticas



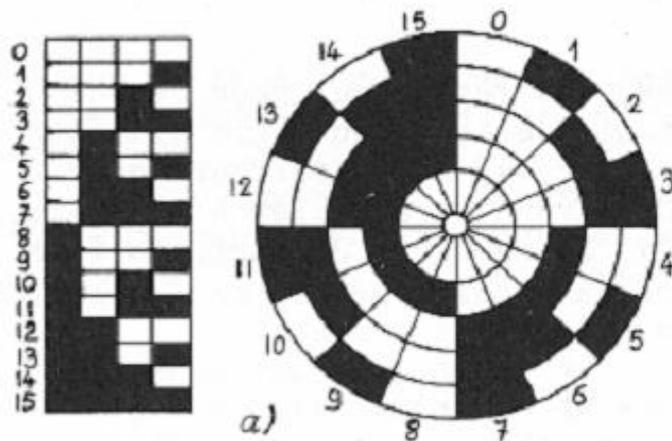
# Transdutores opto-eletrônicos

## Encoders Óticos Rotativos

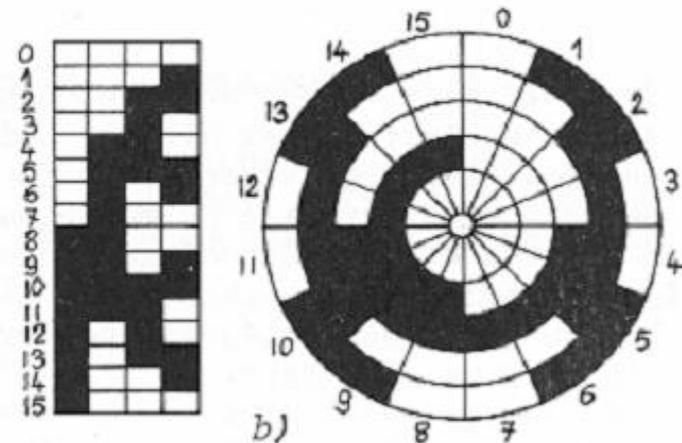


# Transdutores opto-eletrônicos

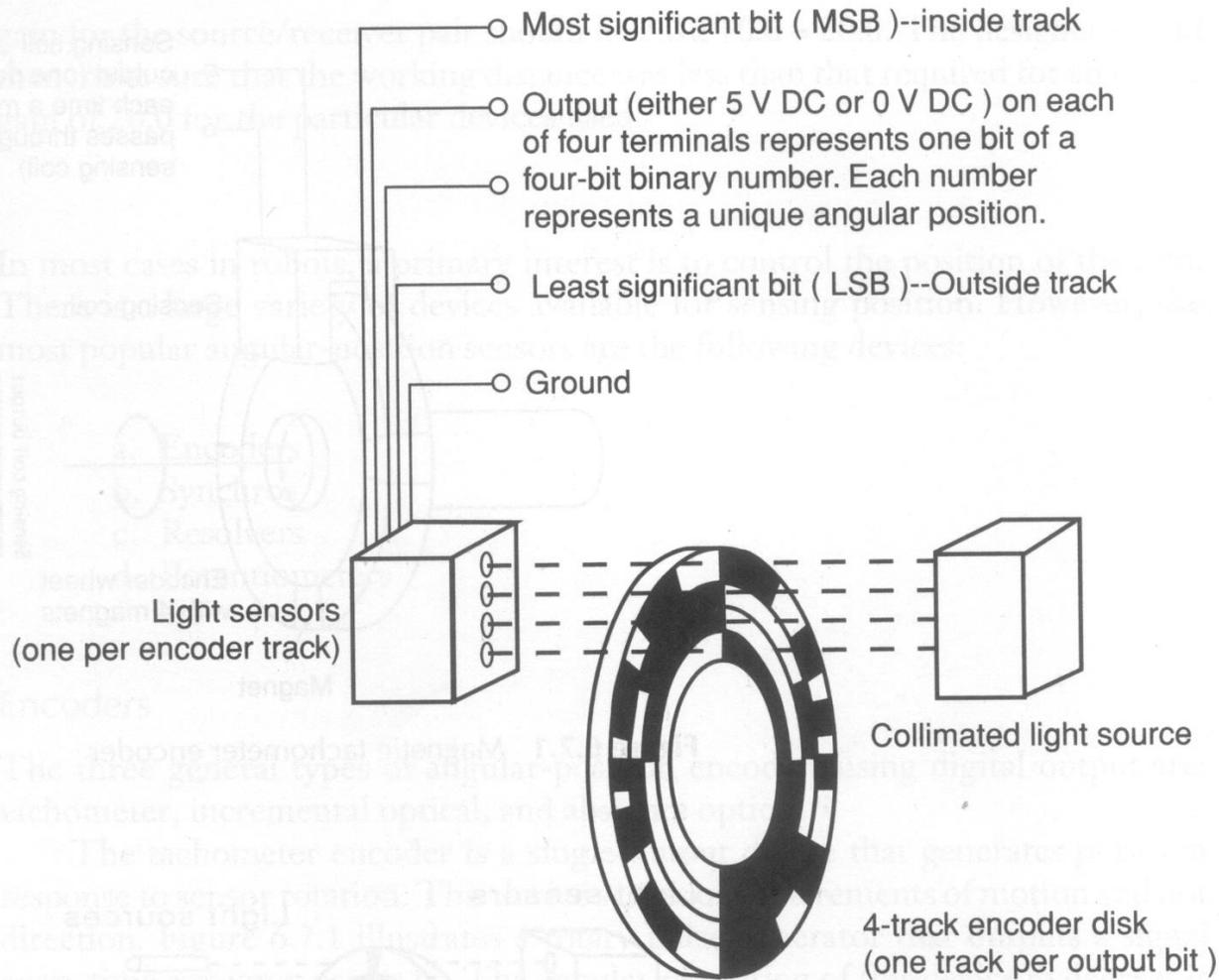
- Encoder óptico absoluto



Disco codificado em binário



Disco codificado em Gray



# Transdutores opto-eletrônicos

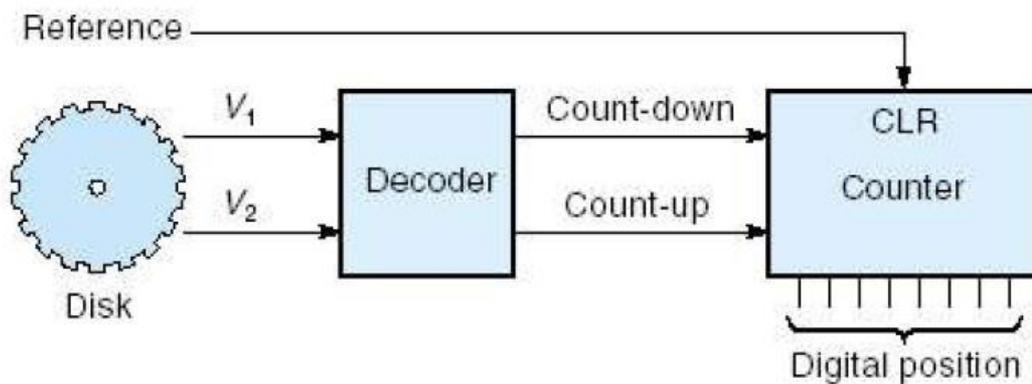
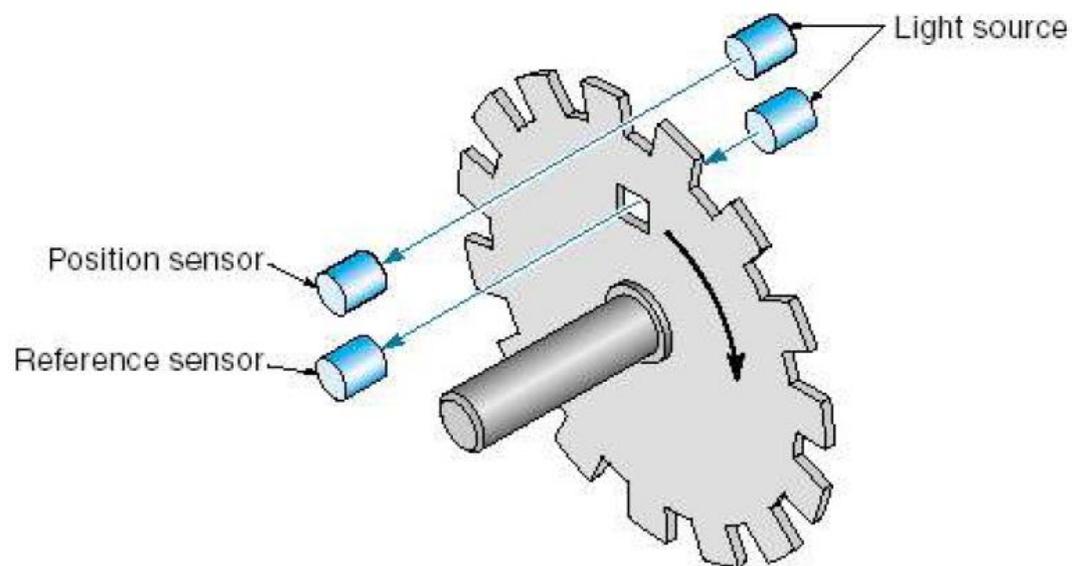
- Decodificador óptico absoluto



Sensor óptico e  
Disco codificado

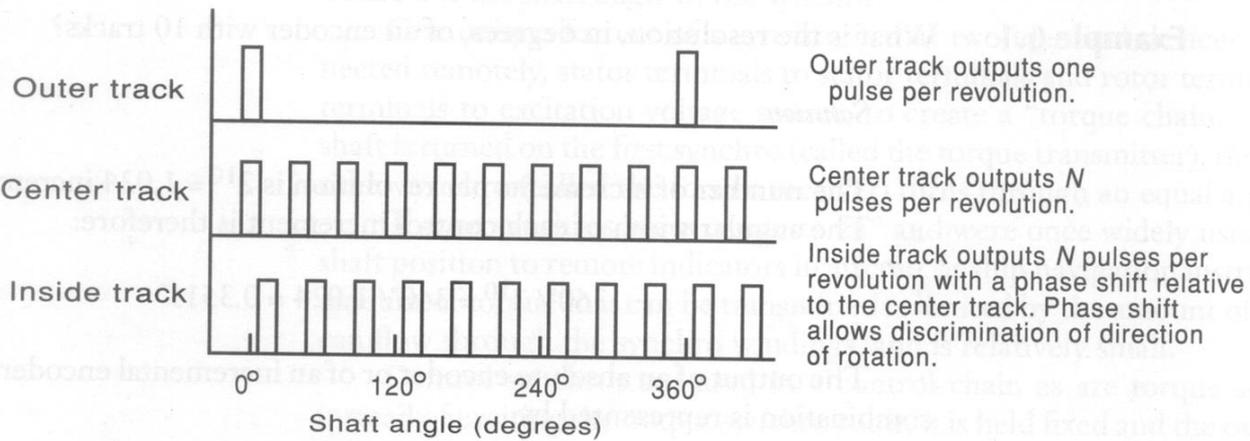
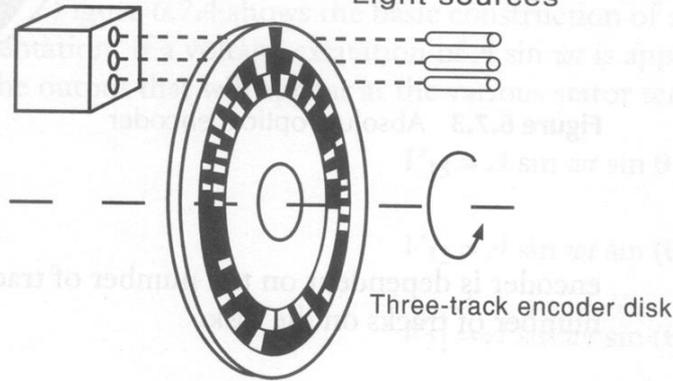


# Encoder óptico incremental



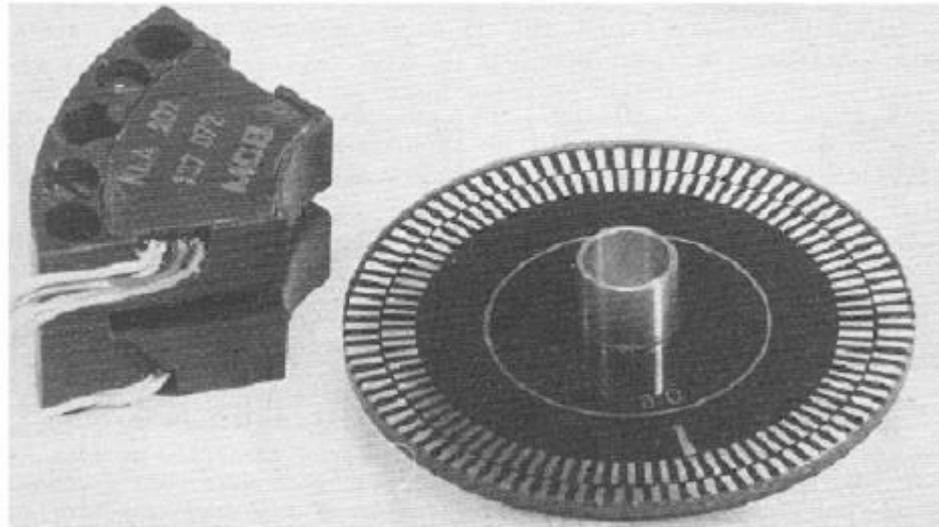
Light sensors

Light sources



# Trandutores opto-eletrônicos

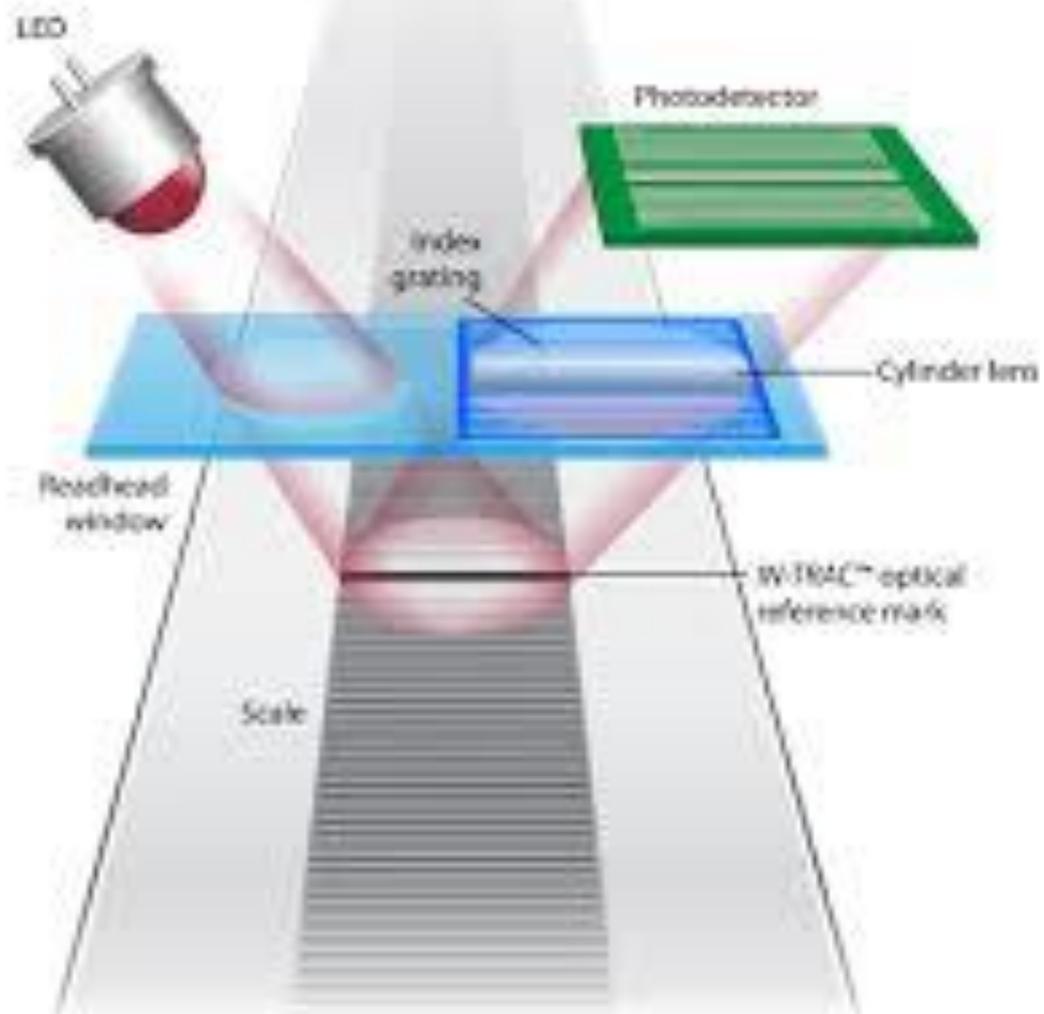
- Encoder óptico incremental



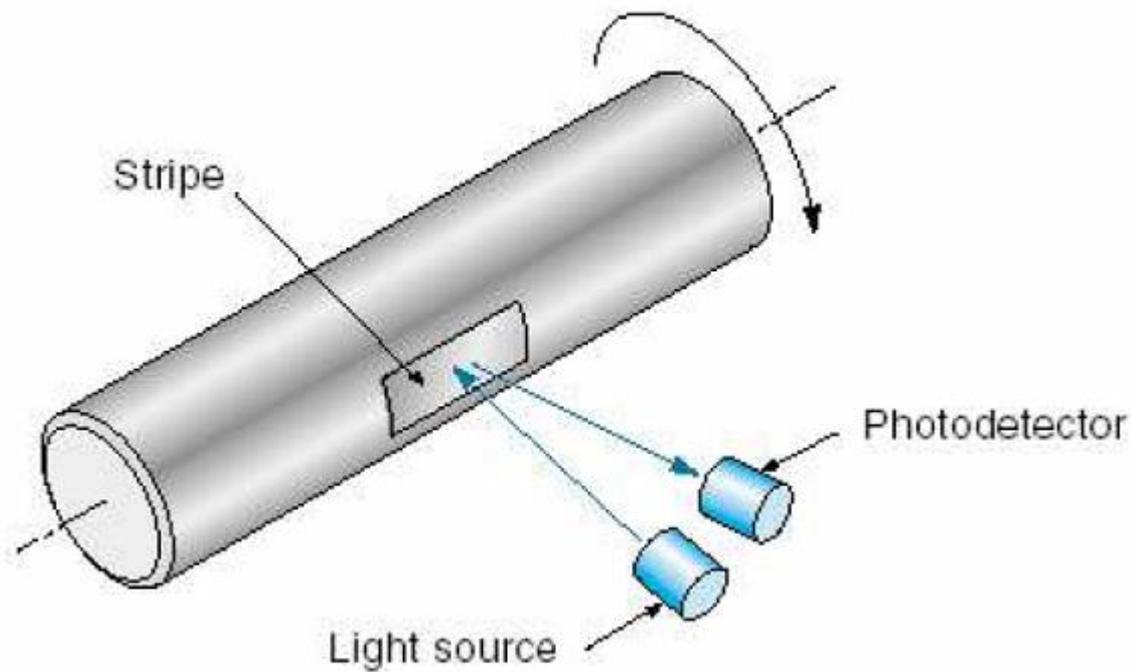
Sensor óptico e disco



## Encoders lineares

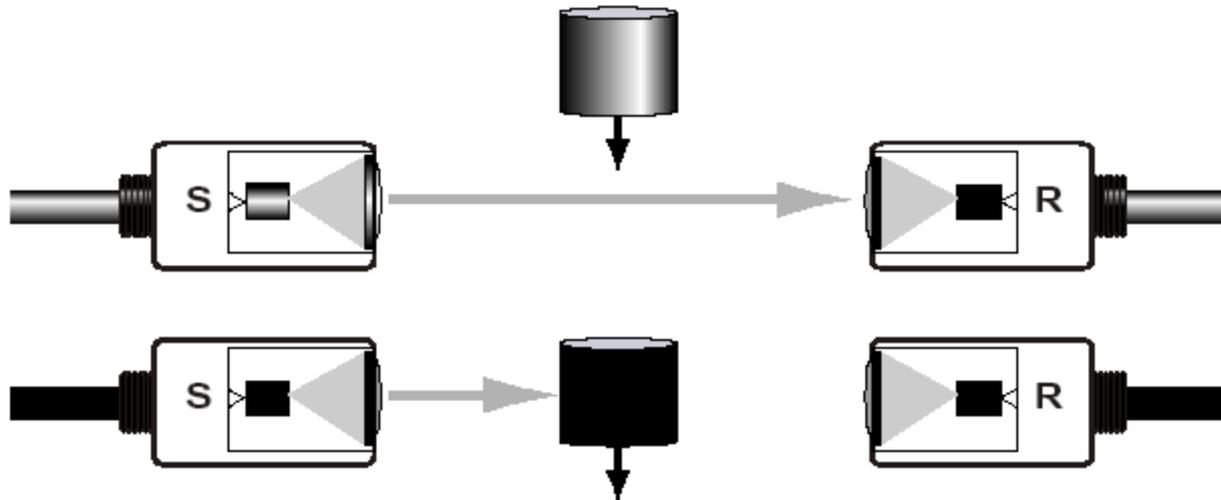


## Tacômetros óticos



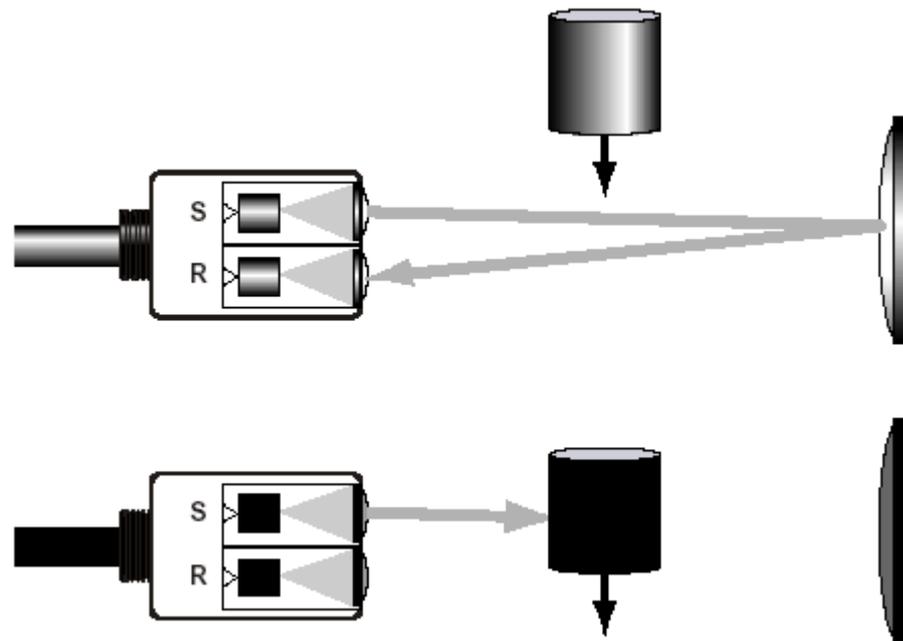
# Sensores Fotoelétricos

Barreira



# Sensores Fotoelétricos

Por Reflexão

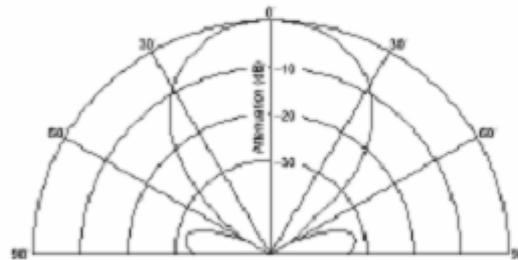


# Transdutores piezo-elétricos

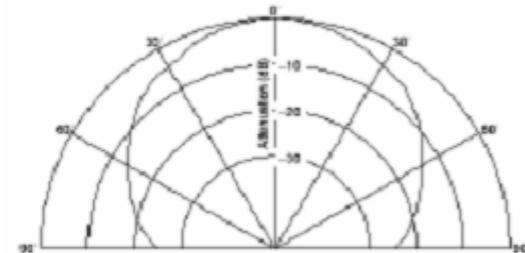
- Elemento piezo-elétrico:



MA40B8R

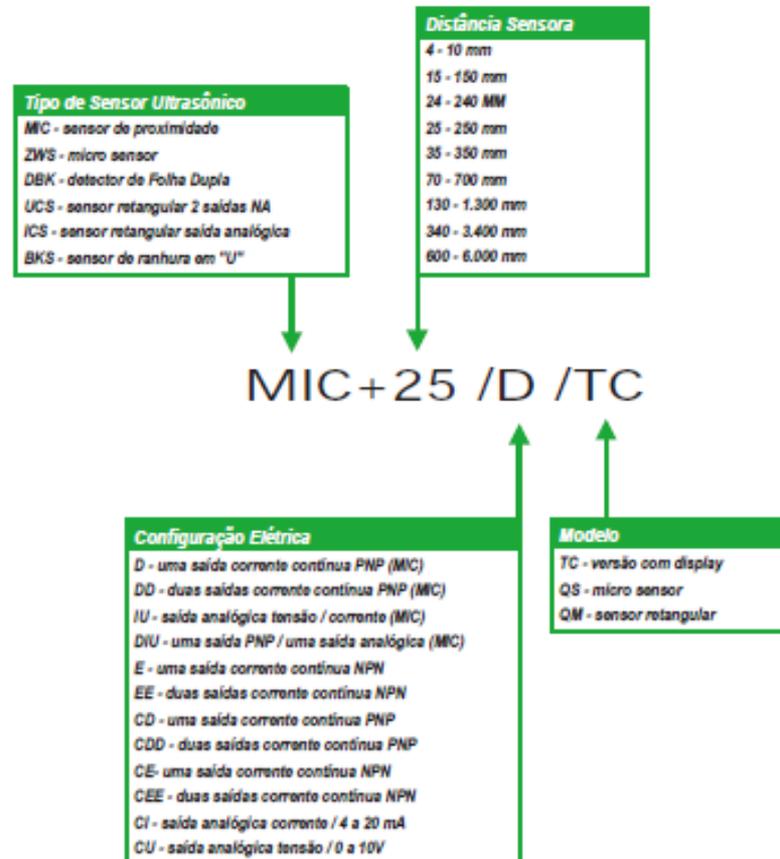


MA40S4R



Part Number	Construction	Using Method	Nominal Freq. (kHz)	Overall Sensitivity (mVp-p)	Sensitivity (dB)	S.P.L. (dB)	Directivity (°)	Cap. (pF)	Operating Temp. Range (°C)	Detectable Range (m)	Resolution (mm)	Max. Input Voltage (Vp-p)
<b>MA40B8R</b>	Open struct.	Receiver	40	-	-63 typ. (0dB=10W/Pa)	-	50	2000	-30 to 85	0.2 to 6	9	-
<b>MA40B8S</b>	Open struct.	Transmitter	40	-	-	120 typ. (0dB=0.02mPa)	50	2000	-30 to 85	0.2 to 6	9	40 Continuous signal

# Sensores de Ultrassom



**M30**

Distância 250 mm  
Corrente Contínua  
Display 3 dígitos  
Saída Digital  
e Analógica

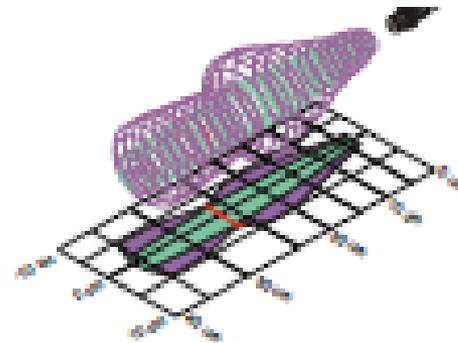
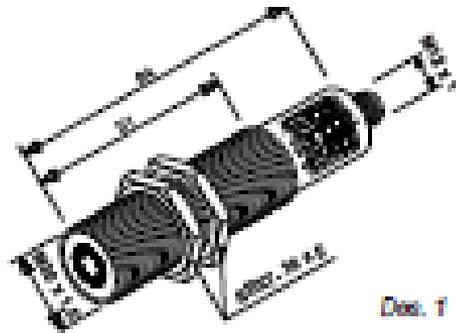


	MIC+25/D/TC	MIC+25/DD/TC	MIC+25/IU/TC	MIC+25/DIU/TC
Tipo de saída	Digital	Digital	Analógica	Digital / Analógica
Desenho / Diagrama	1 / D	1 / DD	1 / IU	1 / DIU
Distância sensora	250 mm	250 mm	250 mm	250 mm
Distância máxima	350 mm	350 mm	350 mm	350 mm
Zona morta	30 mm	30 mm	30 mm	30 mm
Frequência do transdutor	320 KHz	320 KHz	320 KHz	320 KHz
Histerese / Repetibilidade	2,5 mm / ± 0,15 %	2,5 mm / ± 0,15 %	2,5 mm / ± 0,15 %	2,5 mm / ± 0,15 %
Resolução / Drift térmico	0,18 mm / < 2 % / K	0,18 mm / < 2 % / K	0,18 mm / < 2 % / K	0,18 mm / < 2 % / K
Tensão de alimentação / Apêlo	9 a 30 Vcc / ± 10%	9 a 30 Vcc / ± 10%	9 a 30 Vcc / ± 10%	9 a 30 Vcc / ± 10%
Corrente máx. de consulta	200 mA	200 mA	200 mA	200 mA (saída digital)
Corrente de consumo	≤ 80 mA	≤ 80 mA	≤ 80 mA	≤ 80 mA
Saída digital	PNP	PNP duplo	-	PNP
Saída analógica	-	-	0 a 10 V ou 4-20 mA (automático)	0 a 10V ou 4-20mA(automático)
Impedância carga analógica	-	-	250Ω a 1,2kΩ / tensão > 2kΩ	250Ω a 1,2kΩ / tensão > 2kΩ
Frequência máx. / tempo resp.	11 Hz / 50 ms	11 Hz / 50 ms	50 ms	11 Hz / 50 ms
Proteção	curto circuito e inversão	curto circuito e inversão	curto circuito e inversão	curto circuito e inversão
Sinalização (leds tricolor)	aliment., saída e program.	aliment., saída e program.	aliment., saída e program.	aliment., saída e program.
Programação de saída digital	NA ou NF	NA ou NF	-	NA ou NF
Programação de saída analógica	-	-	crescente / decrescente	crescente / decrescente
Modo de programação	via botões ou por software	via botões ou por software	via botões ou por software	via botões ou por software
Programação via software	Link Control (não incluso)	Link Control ( não incluso )	Link Control ( não incluso )	Link Control ( não incluso )
Temperatura de operação	-25°C a + 70°C	-25°C a + 70°C	-25°C a + 70°C	- 25°C a + 70°C
Conexão	via conector M12 - 5 pinos	via conector M12 - 5 pinos	via conector M12 - 5 pinos	via conector M12 - 5 pinos
Involúcro	latão cromado / frente PBT	latão cromado / frente PBT	latão cromado / frente PBT	latão cromado / frente PBT
Grau de proteção / Peso	IP 67 / 150 g	IP 67 / 150 g	IP 67 / 150 g	IP 67 / 150 g

Nota: Solicitar conector PL V10 para fixação dos sensores MIC

Configuração de Saída	Conector	Software

**Dimensões Mecânicas**



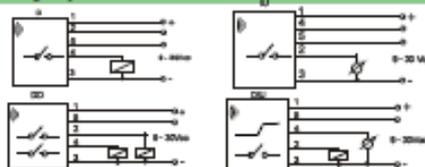
**M30**

Distância 3400 mm  
Corrente Contínua  
Display 3 dígitos  
Saída Digital  
e Analógica



	MIC+340/D/TC	MIC+340/DD/TC	MIC+340/IU/TC	MIC+340/DIU/TC
Tipo de saída	PNP	2 x PNP	Analógica	Digital / Analógica
Desenho	4 / D	4 / DD	4 / IU	4 / DIU
Distância sensora	3400 mm	3400 mm	3400 mm	3400 mm
Distância máxima	5000 mm	5000 mm	5000 mm	5000 mm
Zona morta	350 mm	350 mm	350 mm	350 mm
Frequência do transdutor	120 KHz	120 KHz	120 KHz	120 KHz
Histerese / Repetibilidade	2,5 mm / ± 0,15 %	2,5 mm / ± 0,15 %	2,5 mm / ± 0,15 %	2,5 mm / ± 0,15 %
Resolução / Diff. térmico	0,18 mm / < 2 % / K	0,18 mm / < 2 % / K	0,18 mm / < 2 % / K	0,18 mm / < 2 % / K
Tensão de alimentação / ripple	9 a 30 Vcc / ± 10%	9 a 30 Vcc / ± 10 %	9 a 30 Vcc / ± 10 %	9 a 30 Vcc / ± 10 %
Corrente máx. de consultação	200 mA	200 mA	-	200 mA (saída digital)
Corrente de consumo	≤ 80 mA	≤ 80 mA	≤ 80 mA	≤ 80 mA
Saída digital	PNP	PNP duplo	-	PNP
Saída analógica	-	-	0 a 10 V ou 4-20 mA (automático)	0 a 10V ou 4-20mA(automático)
Impedância carga analógica	-	-	250Ω a 1,2kΩ / tensão: >2kΩ	250Ω a 1,2kΩ / tensão: >2kΩ
Frequência máx. / tempo resp.	3 Hz / 180 ms	3 Hz / 180 ms	180 ms	3 Hz / 180 ms
Proteção	curto circuito e inversão	curto circuito e inversão	curto circuito e inversão	curto circuito e inversão
Sinalização (leds tricolor)	aliment., saída e program.	aliment., saída e program.	aliment., saída e program.	aliment., saída e program.
Programação de saída digital	NA ou NF	NA ou NF	-	NA ou NF
Programação de saída	-	-	crescente / decrescente	crescente / decrescente
Modo de programação	via botões ou por software	via botões ou por software	via botões ou por software	via botões ou por software
Programação via software	Link Control ( não incluso )	Link Control ( não incluso )	Link Control ( não incluso )	Link Control ( não incluso )
Temperatura de operação	-25° C a + 70° C	-25° C a + 70° C	-25° C a + 70° C	-25° C a + 70° C
Conexão	via conector M12 - 5 pinos	via conector M12 - 5 pinos	via conector M12 - 5 pinos	via conector M12 - 5 pinos
Involúcro	látex cromado / frente PBT	látex cromado / frente PBT	látex cromado / frente PBT	látex cromado / frente PBT
Grau de Proteção / Peso	IP 67 / 210 g	IP 67 / 210 g	IP 67 / 210 g	IP 67 / 210 g

**Configuração de Saída**



**Conector V15**



**Cor dos Cabos**

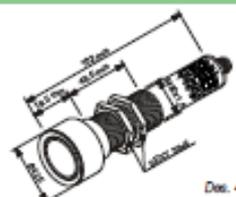
MR - marrom / AZ - azul  
PR - preto / BR - branco

**Software**



Link Control - software de configuração do sensor para PC, com adaptador para porta RS 232.

**Dimensões Mecânicas**



Des. 4

