



Universidade do Minho

Departamento de Electrónica
Industrial

Transdutores

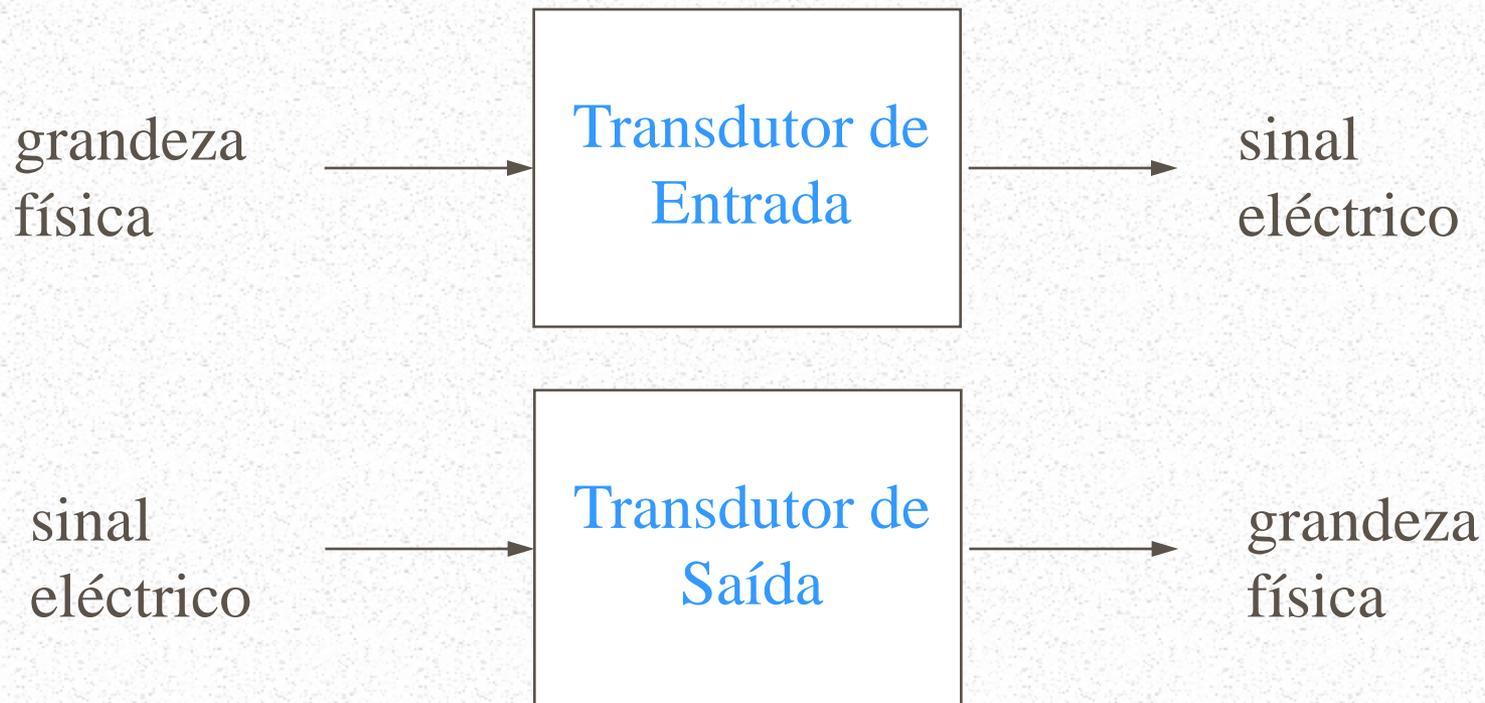


Transdutores



Universidade do Minho

Departamento de
Electrónica Industrial





Transdutores de entrada (exemplos)



Universidade do Minho

Departamento de
Electrónica Industrial

Tipo	Entrada	Potência Disponível (W)	Tensão (V)	Corrente (A)	Saída
Termopar	Temperatura	0.5×10^{-4}	10^{-3}	10^{-1}	Tensão (CC)
Célula fotovoltaica	Luz	0.5×10^{-5}	10^{-1}	10^{-4}	Tensão (CC)
Extensómetro	Força	—	—	—	Resistência
Tacómetro	Velocidade	10^{-3}	10^0	10^{-3}	Tensão (CC)
Microfone	Som	10^{-8}	10^{-3}	—	Tensão (CA)
"Pickup" magnético	Vibração	0.25×10^{-6}	10^{-2}	10^{-4}	Tensão (CA)
Resolver	Ângulo	$10^{-2} - 10$	10	—	Tensão (CA)

Tipo	Potência (W)	Rendimento (%)	Aplicações
Motor eléctrico	$1 - 10^6$	75 – 95	Sistemas de controlo
Altifalante	$1 - 10^2$	3 – 10	Sistemas de som
Galvanómetro	10^{-6} (F.S.D.)*	—	Sistemas de medida
Voltímetro electrostático	10^{-6} (F.S.D.)*	—	Sistemas de medida
Relé	$10^{-4} - 10^{-1}$	—	Sistemas de controlo
Tubo de raios catódicos (CRT)	10^{-7}	—	Sistemas de medida e monitorização



Transdutores (miscelândia)



Universidade do Minho

Departamento de
Electrónica Industrial

Tipo	Entrada	Saída	Aplicações
Extensómetro	Força	Variação de resistência	Medida de força, tensão, deslocamento
Célula de carga*	Força/pressão	Variação de resistência	Medida de peso, pressão
Fotocélula	Intensidade da luz	Tensão	Fontes de energia, dispositivos sensíveis a luz
Transformador diferencial (LVDT)	Deslocamento (linear)	Variação de indutância	Medida de deslocamento
Termopar	Temperatura	Variação de tensão	Sistemas de controlo e monitor. de temperatura
Termistor	Temperatura	Variação de resistência	Sistemas de controlo e monitor. de temperatura
Tacómetro	Velocidade angular	Tensão	Sistemas de controlo de velocidade

- Sempre que a propriedade física de um material se altera em resposta a uma excitação então esse material pode ser usado como sensor.
- Características estáticas dos sensores
 - **Gama de funcionamento**
 - **Resolução**
 - **Erro**
 - **Precisão**
 - **Exactidão (accuracy)**
 - **Sensibilidade**
 - **Linearidade**
 - **Repetibilidade e estabilidade**
 - **Histerese**
 - **Limite (threshold) e zona morta (Dead Zone)**

■ Gama

Máximo e mínimo valores que podem ser medidos.

■ Resolução

A resolução define-se como a quantidade mais pequena que um sistema é capaz de distinguir.

Exemplo : Considere-se o caso duma resistência variável de 100Ω com uma resolução de 1% do seu valor máximo, ou seja a resistência pode assim ser ajustada para 1Ω , 2Ω , 3Ω , etc., mas não pode fixar-se em 2.2Ω ou 4.5Ω (admitindo que se começa em 0Ω).

■ Erro

Diferença entre o valor medido e o valor real

- Erro aleatório
- Erro Sistemático

■ Exactidão (Accuracy)

É o desvio entre o valor medido e o valor real.

$$\text{Exactidão (\%)} = \frac{\text{Valor real} - \text{Valor Medido}}{\text{Valor de referência}} \times 100$$

Valor de referência – É um valor real definido previamente, frequentemente é o valor de fim de escala

■ Precisão

- A *precisão* de um sistema é uma medida de como o desempenho do sistema se aproxima das expectativas.

- Exemplo : A especificação da precisão de grande parte dos aparelhos de medida – dum voltímetro, p. ex. –, faz-se normalmente nestes termos, isto é, em termos do valor máximo de funcionamento ou *fim de escala*. Dizer que a *classe de precisão* dum voltímetro é 0.1, por exemplo, quer dizer que o maior erro que é possível cometer numa medida (tendo em conta todas as fontes de imprecisão), é 0.1% do valor máximo da escala em que se está a trabalhar. Assim, quando trabalhamos na escala de 20V, o maior erro absoluto que cometemos é:

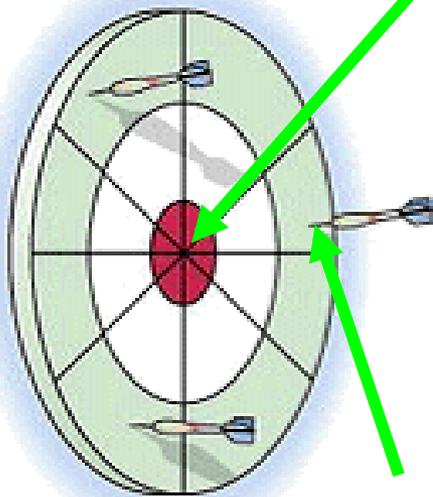
$$\frac{0.1}{100} \times 20 \text{ V} = 0.02 \text{ V}$$

- Quando medimos nesta escala, uma tensão de 5V, o erro relativo cometido é de:

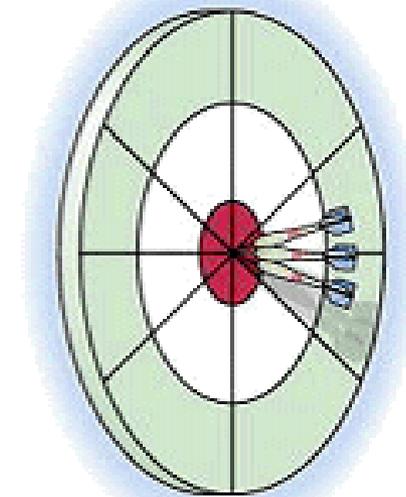
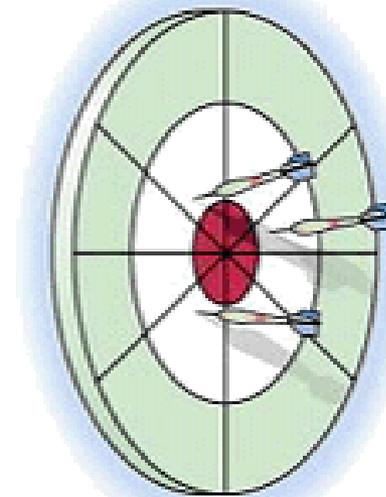
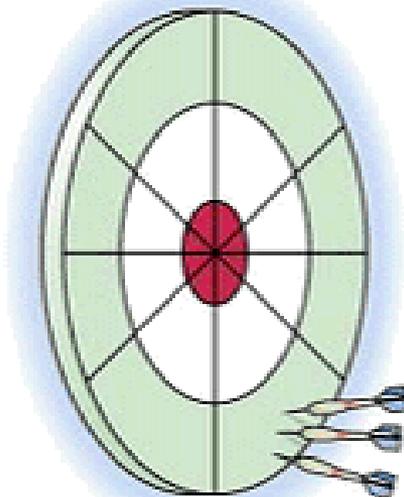
$$\pm \frac{0.02 \text{ V}}{5 \text{ V}} \times 100\% = \pm 0.4\%$$

■ Relação entre precisão e exactidão

Valor Actual



Leituras



a) Baixa Exactidão
Baixa Precisão

b) Baixa Exactidão
Alta Precisão

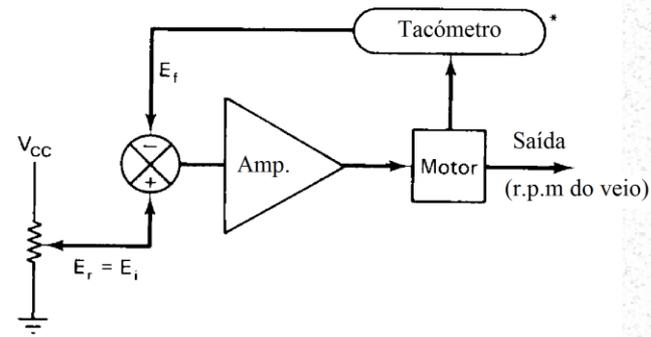
c) Alta Exactidão
Baixa Precisão

d) Alta Exactidão
Alta Precisão

■ Sensibilidade

A sensibilidade pode entender-se como *a variação da saída por unidade de variação da entrada*.

- **Exemplo:** Considere-se o sistema de controlo de velocidade electrónico da fig. Neste caso a referência de velocidade é determinada pela tensão no ponto médio do potenciómetro, E_r . Vamos admitir que quando $E_r = 5V$, a velocidade é 3000rpm (rotações-por-minuto). Para $E_r = 6V$, a velocidade é 4000rpm. A sensibilidade é então de $(6 - 5)V$ para a variação correspondente de $(4000 - 3000)$ rpm, ou seja, 1000rpm/V.



- No exemplo anterior se quisermos provocar uma alteração de 4000rpm na velocidade, devemos variar a entrada de (4000 a dividir pela sensibilidade):

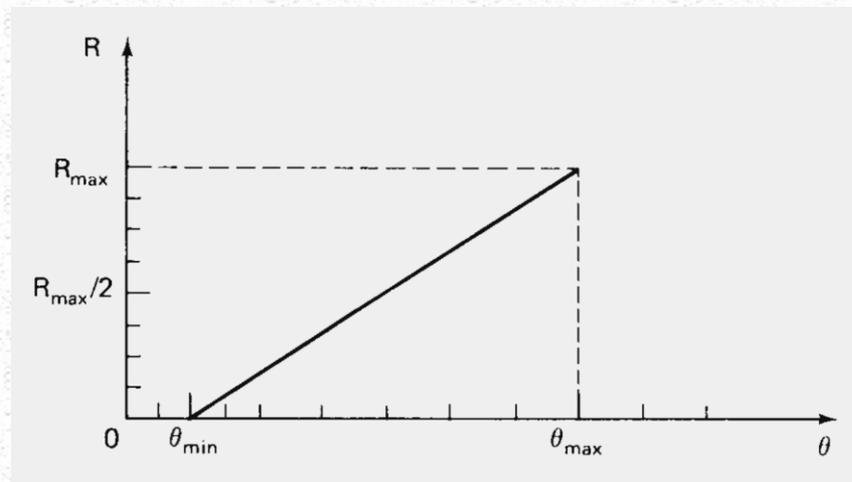
$$\Delta E_r = \frac{4000rpm}{1000rpm/V} = 4V$$

Ou seja, é necessário variar a tensão E_r de 5V para 9V. É possível traçar um gráfico com os pontos acima obtidos:

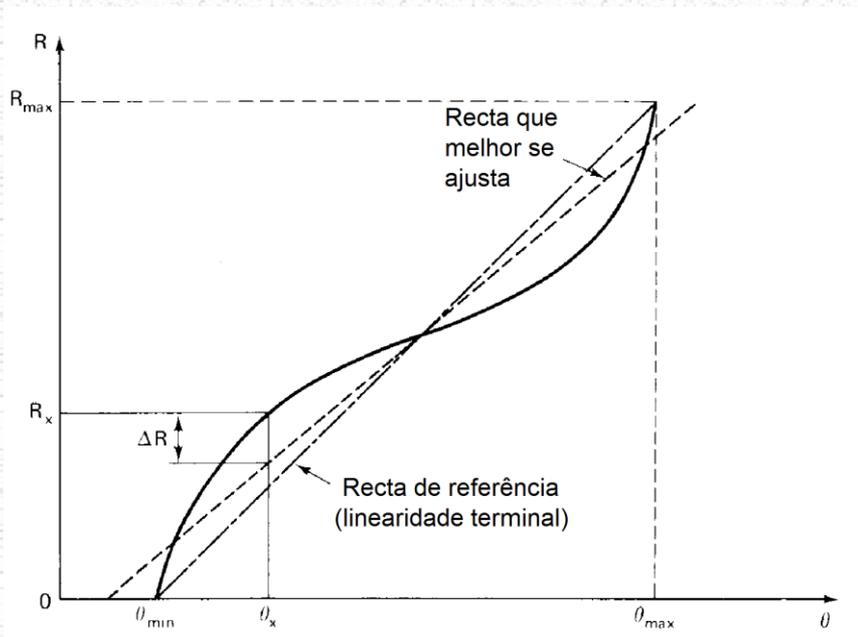
E_r	Velocidade (rpm)
5	3000
6	4000
9	7000

■ Linearidade

- A *linearidade* pode definir-se como o desvio da relação entre duas grandezas de uma linha recta.



Resistência vs posição angular do veio (relação linear)



$$\%linearidade = \frac{\Delta R}{R_{max}} \times 100$$

Linearidade independente

$$\%linearidade = \frac{\Delta R}{R_x} \times 100$$

■ Repetibilidade e estabilidade do zero

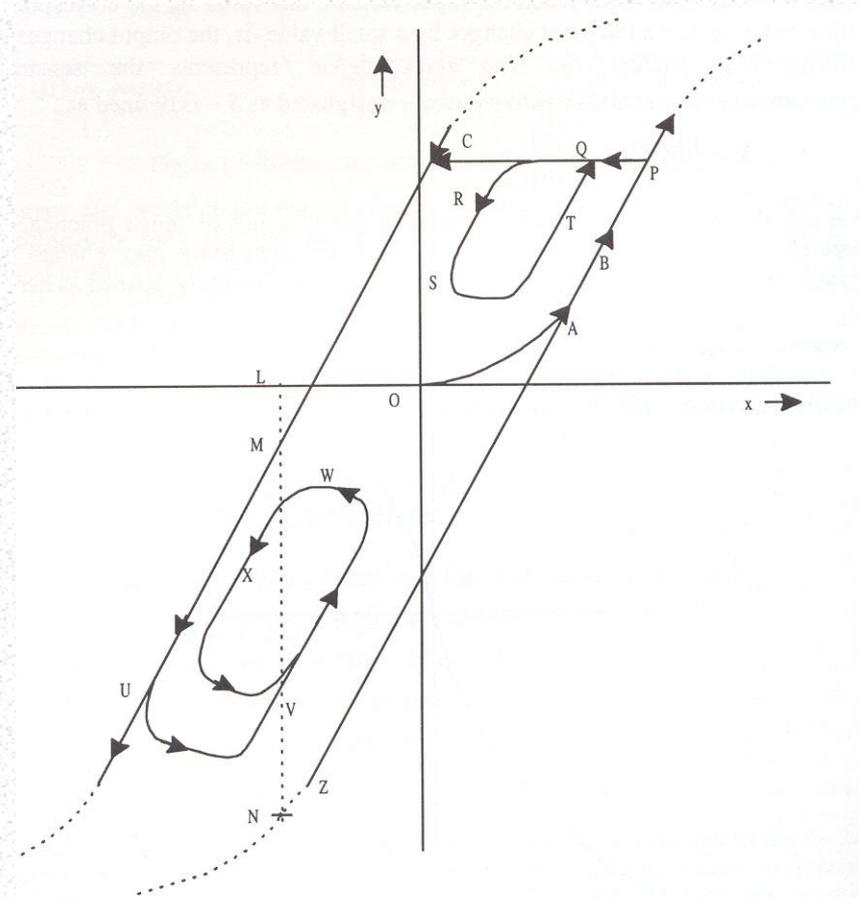
Repetibilidade refere-se a um conjunto de medidas com o mesmo valor e pode ser expressa em percentagem por:

$$\% \text{ repetibilidade} = \frac{\text{Max.Val.Lido} - \text{Min.Val.Lid}}{\text{Max.Val.Lido} + \text{Min.Val.Lid}} \times 100 = \frac{\text{Max.Desv.Média}}{\text{Média}} \times 100$$

A “estabilidade do zero” refere-se à estabilidade do valor zero.

■ Histerese

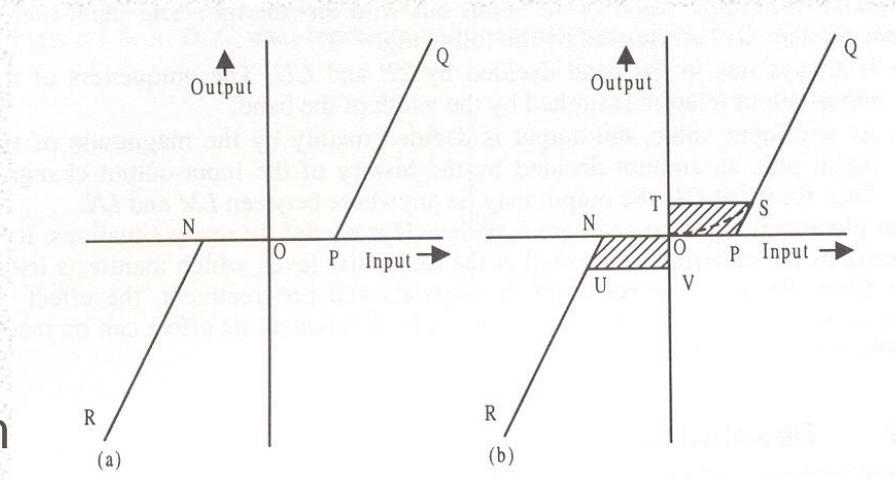
Relação entre a entrada e a saída de um sensor. É uma característica do material que está relacionada com a inércia ao nível molecular.



■ Limite e zona morta

O limite representa a mais pequena variação na entrada que é detectada/discernível na saída.

A zona morta corresponde a uma zona em que pode existir uma variação da entrada entre valores negativos e positivos em torno do zero sem o valor de saída estabilizar.





Universidade do Minho

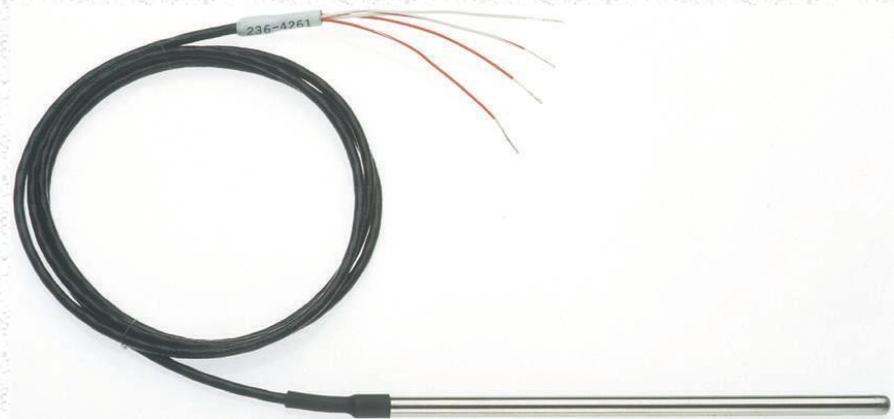
Departamento de Electrónica
Industrial

Sensores

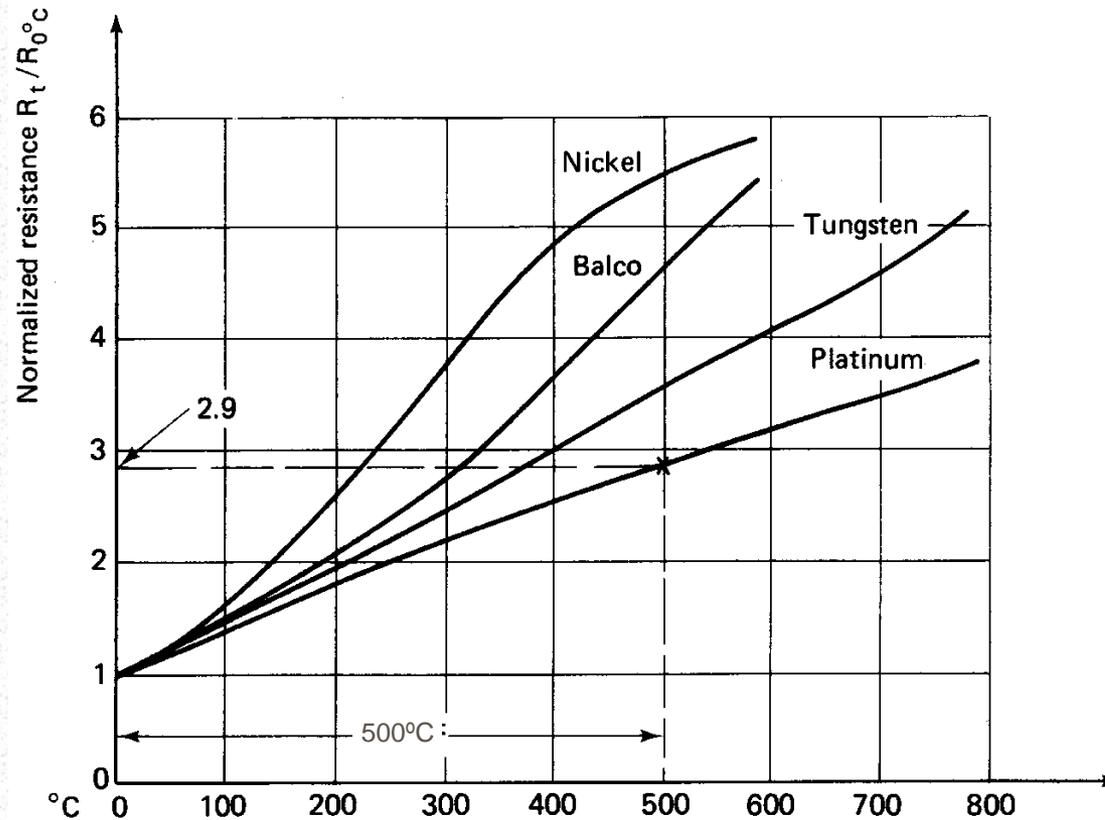
- **Termómetros de resistência (RTD –Resistance Thermometer detectors)**
 - São dispositivos normalmente constituídos por fios de platina (também denominados **platinum resistance thermometers** or **PRT**)
 - São lineares mas com uma pobre sensibilidade.



PRT Típico

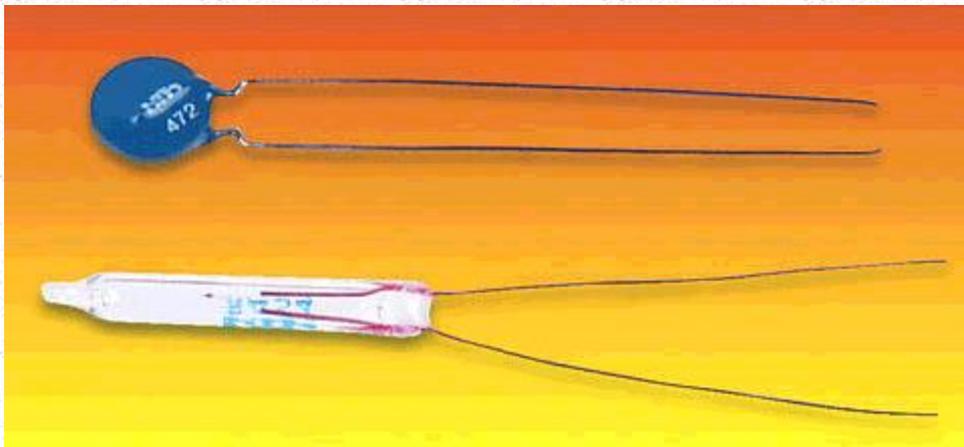


PRT de bainha

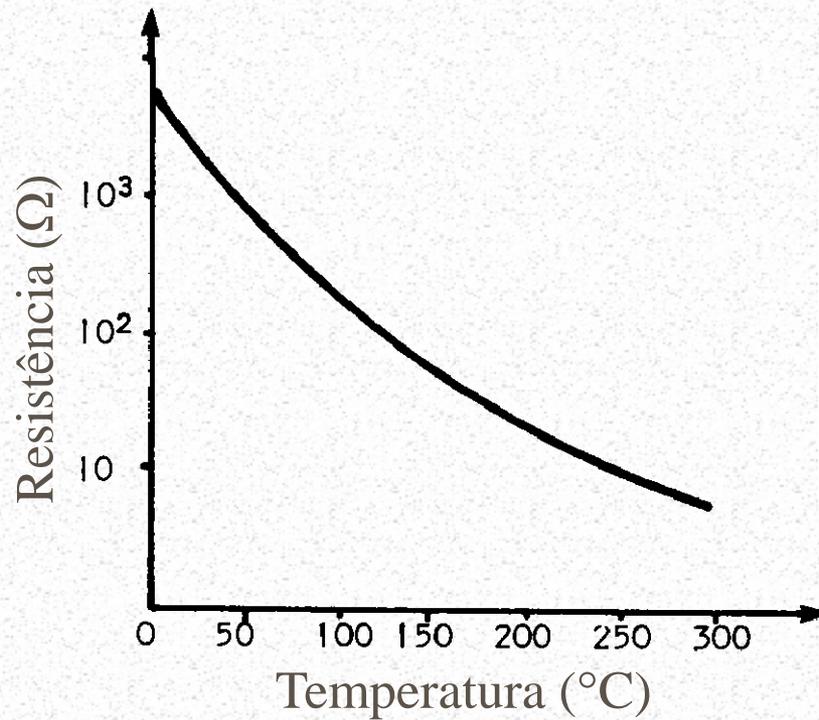


■ Termístores

- Usam materiais com um alto coeficiente térmico de resistência. Como por exemplo óxido de magnésio, cobalto, níquel e outros metais.
- Sensíveis mas de fraca linearidade

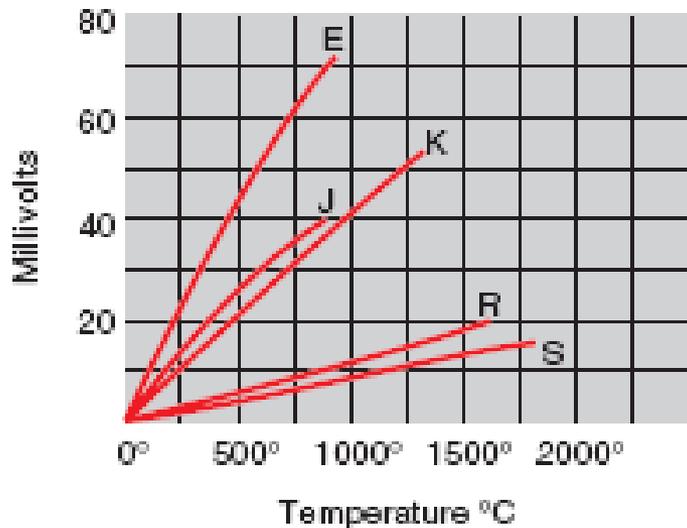


Sensores de temperatura

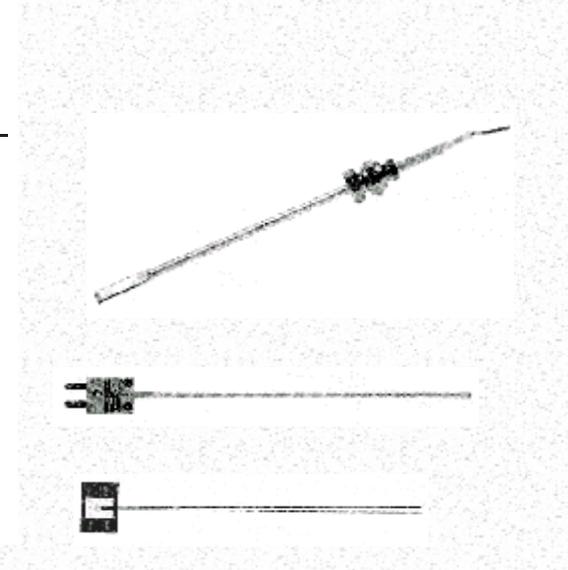


■ Termopares

- São os sensores de temperatura mais largamente usados na indústria. A sua capacidade para medir **sem qualquer fonte de alimentação externa**, a excelente repetibilidade, razoável custo e facilidade de fabrico são alguns dos motivos responsáveis por esta situação.



Type	Metals	
	+	-
E	Chromel vs. Constantan	
J	Iron vs. Constantan	
K	Chromel vs. Alumel	
R	Platinum vs. Platinum 13% Rhodium	
S	Platinum vs. Platinum 10% Rhodium	
T	Copper vs. Constantan	

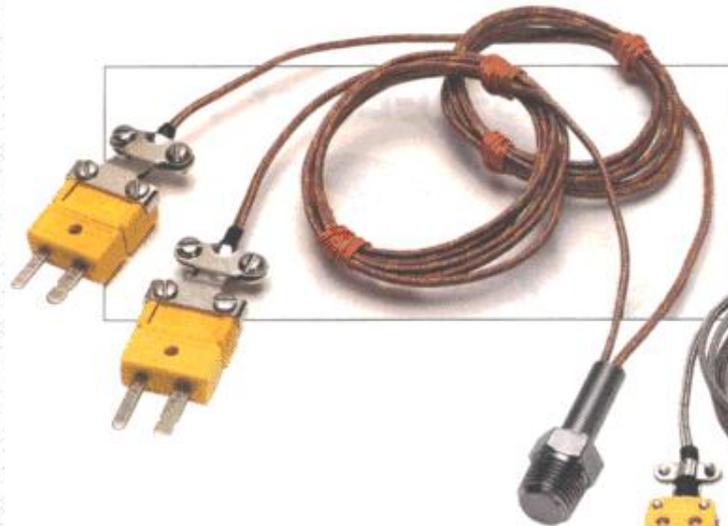
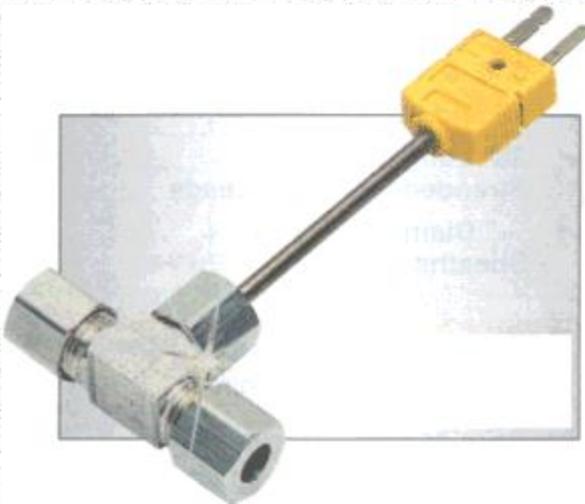


Sensores de temperatura

Tipo de termopar	Materiais	Gama de utilização
B	Platinum 30% Rhodium (+)	2500 -3100F
	Platinum 6% Rhodium (-)	1370-1700C
C	W5Re Tungsten 5% Rhenium (+)	3000-4200F
	W26Re Tungsten 26% Rhenium (-)	1650-2315C
E	Chromel (+)	200-1650F
	Constantan (-)	95-900C
J	Iron (+)	200-1400F
	Constantan (-)	95-760C
K	Chromel (+)	200-2300F
	Alumel (-)	95-1260C
N	Nicrosil (+)	1200-2300F
	Nisil (-)	650-1260C
R	Platinum 13% Rhodium (+)	1600-2640F
	Platinum (-)	870-1450C
S	Platinum 10% Rhodium (+)	1800-2640F
	Platinum (-)	980-1450C
T	Copper (+)	-330-660F
	Constantan (-)	-200-350C

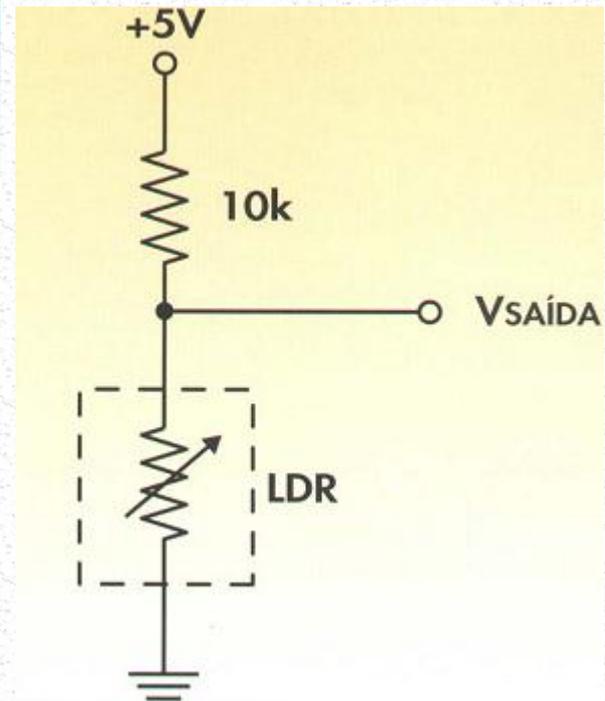
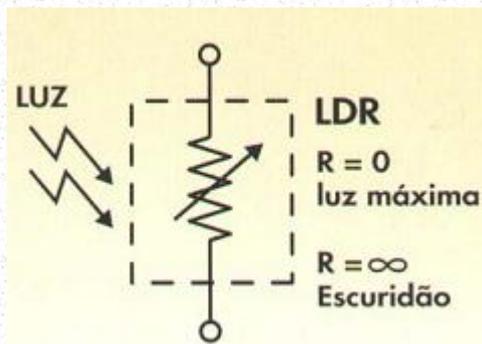
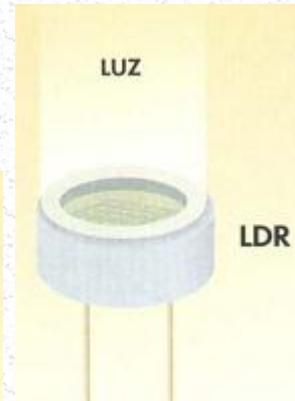
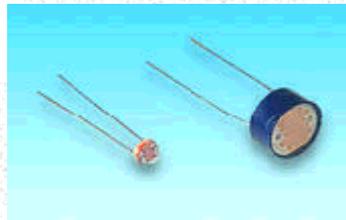
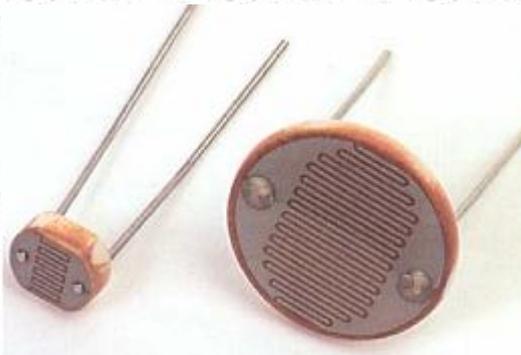
BACK

Sensores de temperatura

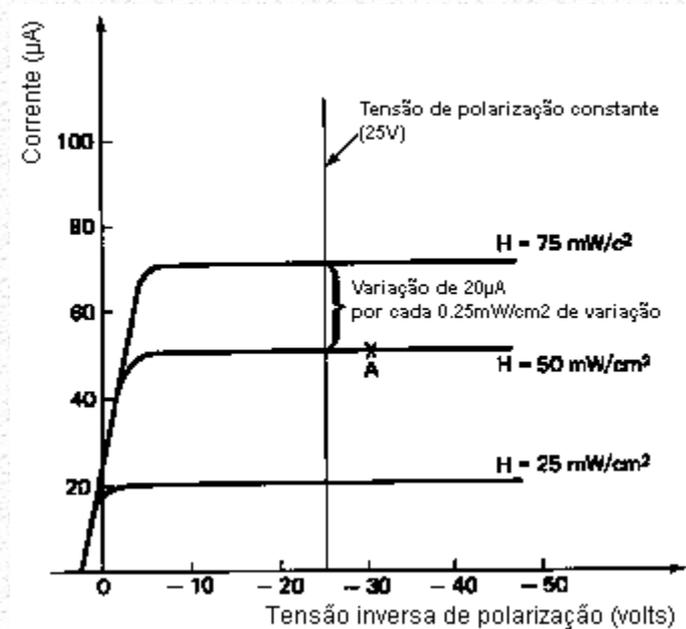
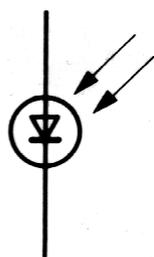
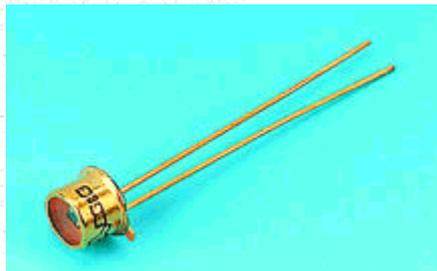


Características	Termopar	Termistor	Termoresistência
Gama de temperatura	-190°C — 2500°C	(0 absoluto) — 320°C	-270°C — 1200°C
Linearidade	10 — 25%	10% — 25%	0.17%: -20°C — 100°C 1.62%: -20°C — 420°C
Precisão	0.1% — 5%	5%	0.01% (facilmente)
Estabilidade	Excelente	Pobre	Excelente
Nível de sinal	40mV/°C (ou menos)	500mV/°C — 1V/°C (com uma ponte)	até 200mV/°C (com uma ponte)
Medida dum só ponto	Excelente	Excelente	Pobre
Área de medida	Pode ser muito pequena	Muito pequena	Grande

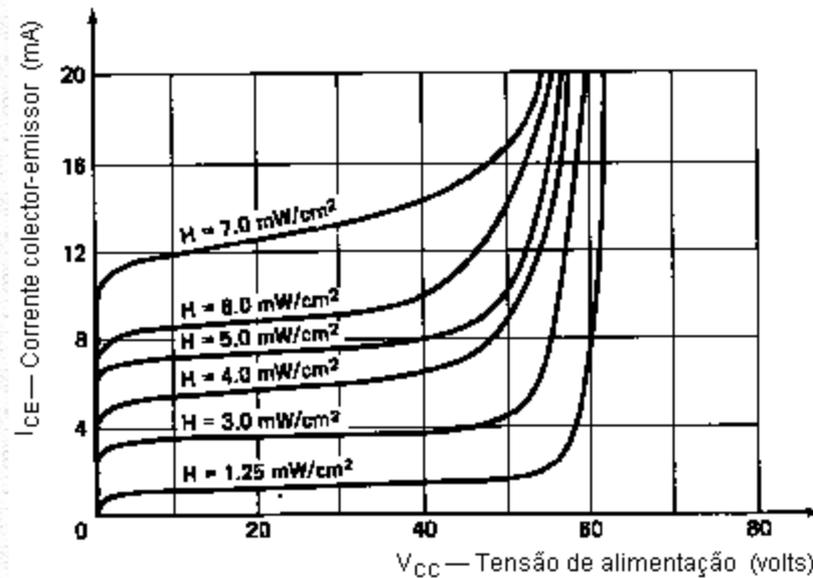
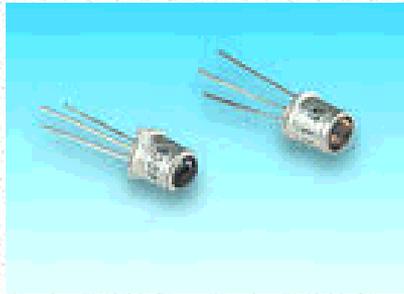
Fotoresistência (LDR – "Light Dependent Resistor")



■ Fotodíodo



Fototransísttor

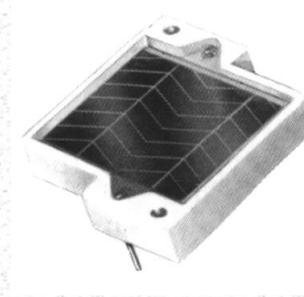


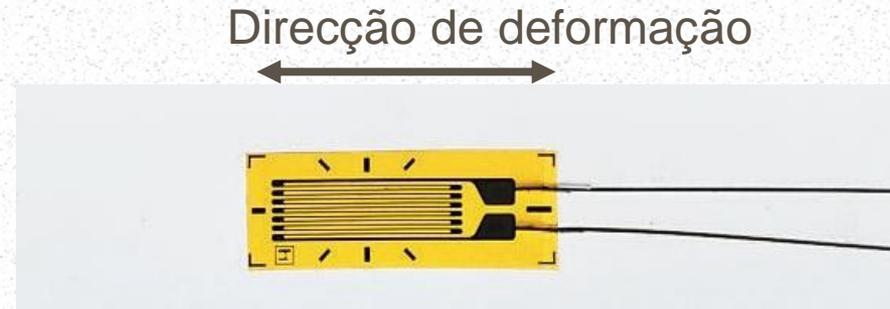
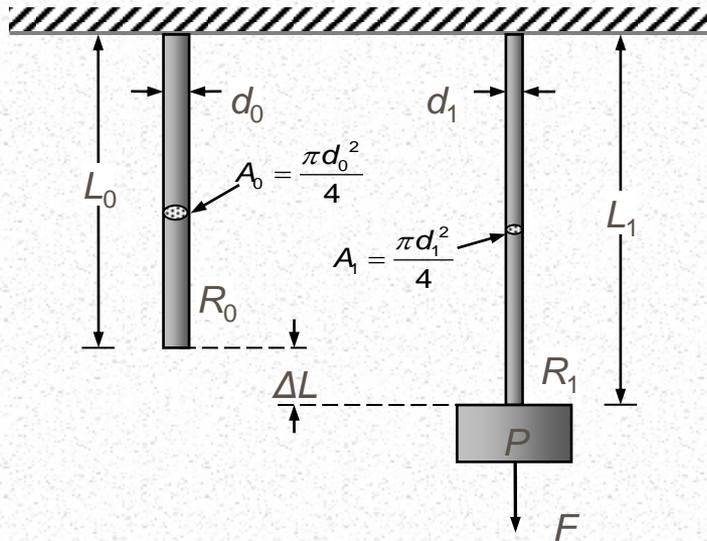
Fotocélula

$$\eta = 10\%$$

$$0.5V / \text{célula}$$

$$35\text{mA} / \text{cm}^2$$





$$R_1 = \rho \frac{L_1}{A_1}, \quad R_0 = \rho \frac{L_0}{A_0} \quad (\rho \rightarrow \text{resistividade do metal})$$

$$\frac{R_1}{R_0} = \frac{L_1}{L_0} \cdot \frac{A_0}{A_1} \quad \rightarrow \quad R_1 = R_0 \cdot \frac{L_1}{L_0} \cdot \frac{A_0}{A_1}$$

$$L_1 = 1.01L_0 \quad (1\% \text{ de incremento no comprimento})$$

$$A_1 = 0.99A_0 \quad (1\% \text{ de diminuição na secção})$$

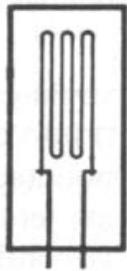
$$R_1 = R_0 \cdot \frac{1.01L_0}{L_0} \cdot \frac{A_0}{0.99A_0} = 1.02R_0 \quad (\Delta R = 2\%)$$

$$G = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \quad (\text{factor de gauge})$$

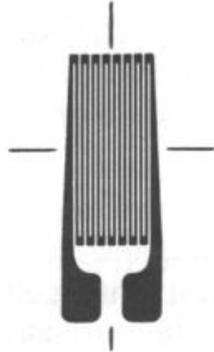
$$\frac{\Delta L}{L} = 1\% = 0.01, \quad \frac{\Delta R}{R} = 2\% = 0.02$$

$$\rightarrow G = \frac{0.02}{0.01} = 2$$

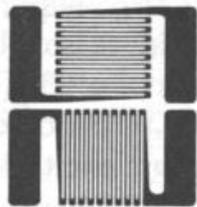
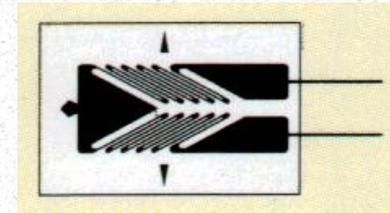
Extensómetros



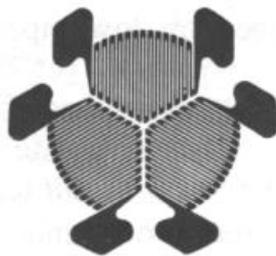
b. Bonded wire strain gage



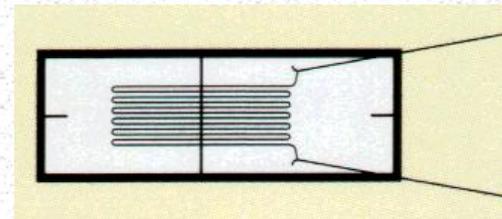
c. Foil strain gage

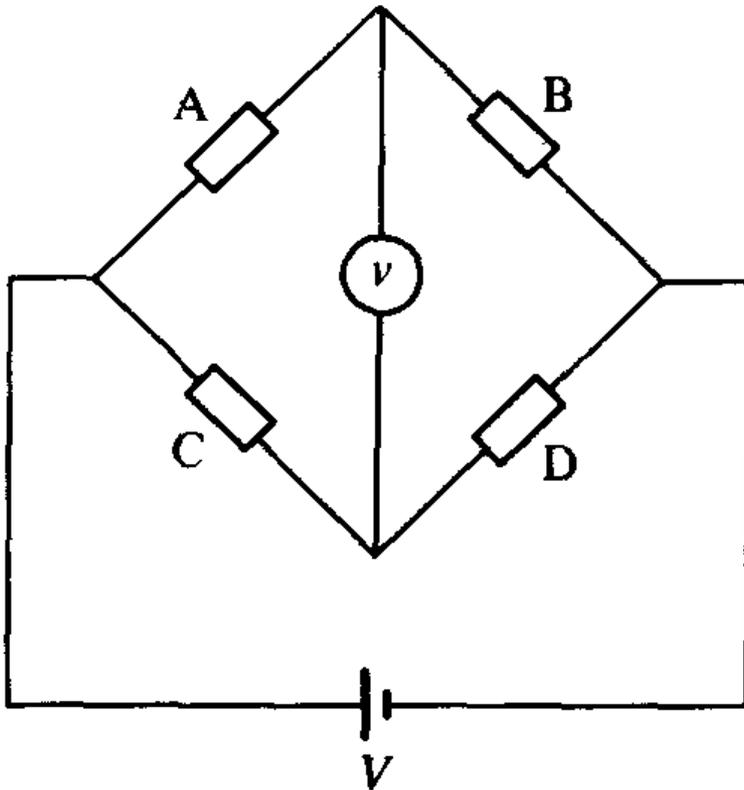


*d. 2-Element rosette 90°
planar foil strain gage*

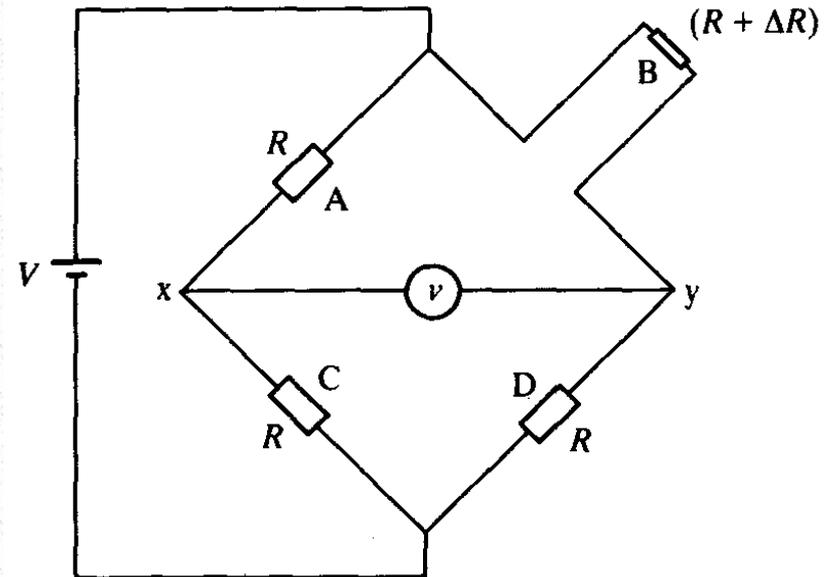


*e. 3-Element rosette 60°
planar foil strain gage*



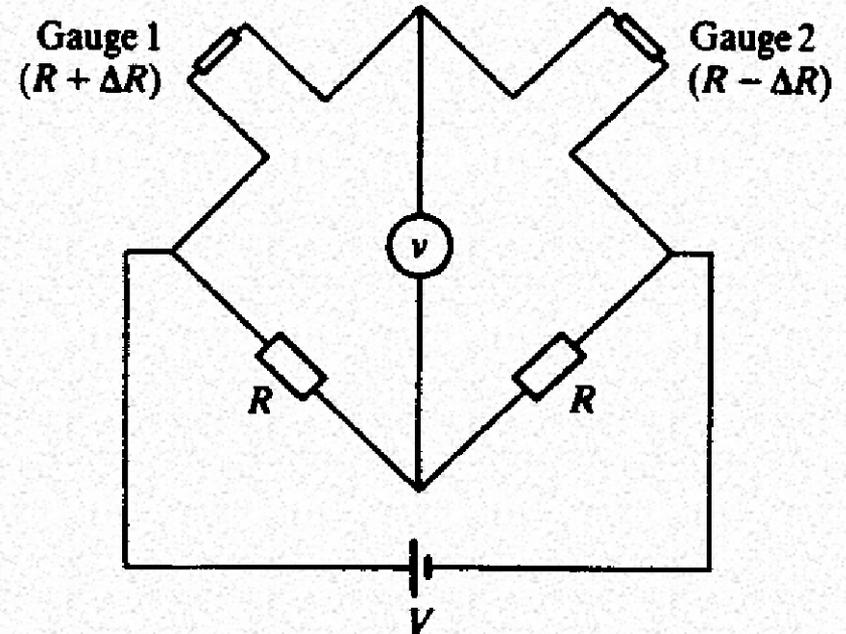
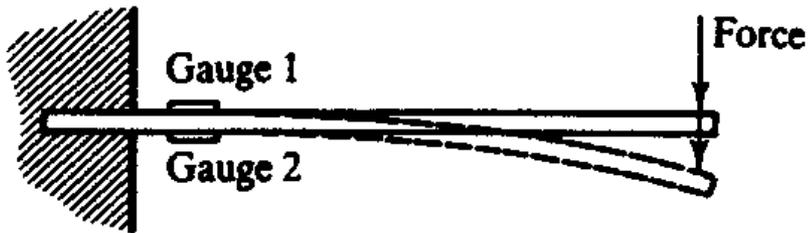


$$R_A \cdot R_D = R_B \cdot R_C$$

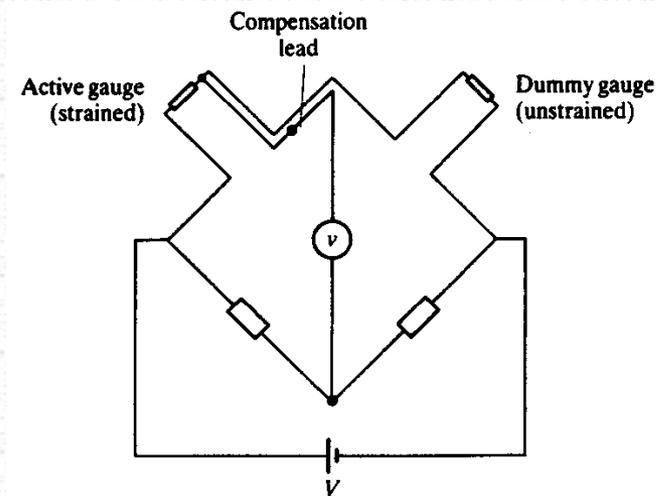


$$v \approx \frac{V\Delta R}{4R} \quad (\text{se } R \gg \Delta R)$$

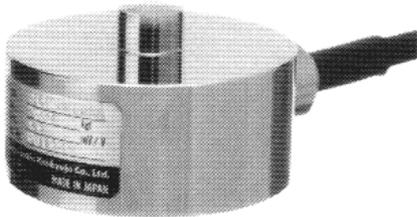
Medida de Força/Pressão



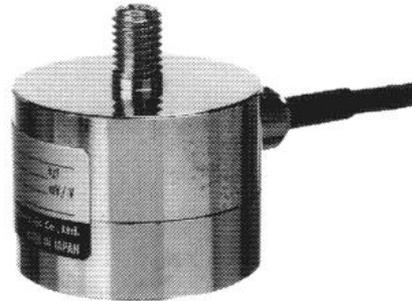
$$v \approx \frac{V\Delta R}{2R} \quad (\text{se } R \gg \Delta R)$$



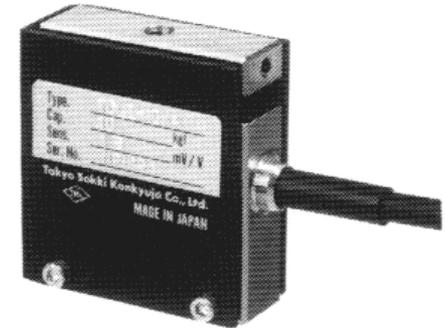
Medida de Força/Pressão



Compression 5~20kgf(CLP-KB)
50~2000kgf(CLP-KA)



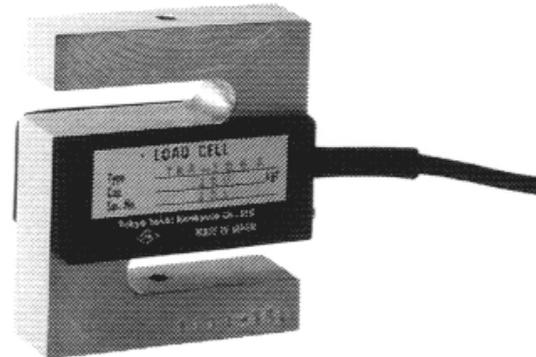
Tension/Compression
5~20kgf(TCLP-KB) 50~500kgf(TCLP-KA)



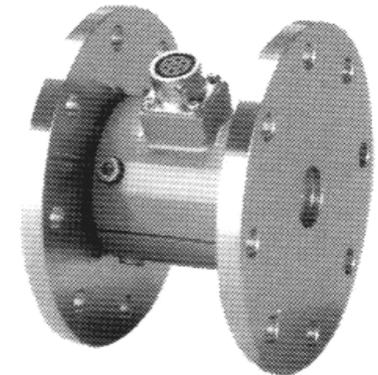
Tension/Compression
High performance 5~1000kgf



Tension 1~50tf



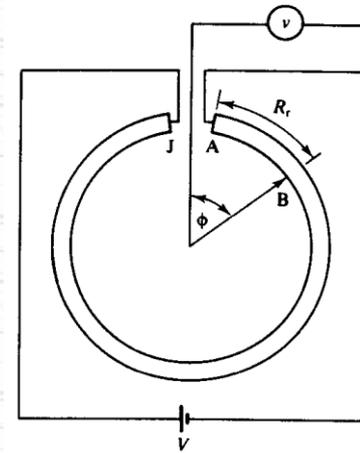
Tension/Compression High performance
10~1000kgf



Flange type Torque Meter
 $\pm 1 \sim \pm 100 \text{kgf} \cdot \text{m}$

■ Potenciómetros

- São dos dispositivos mais largamente usados para medir deslocamentos devido à sua simplicidade.
- Pode medir deslocamentos angulares ou lineares.
- É de baixo custo e de fácil utilização.



$$v = V \frac{R_r}{R_r + R}$$

para $R \gg R_r$,

$$v \approx V \frac{R_r}{R}$$

■ LVDT (Linear Variable Differential Transformer)

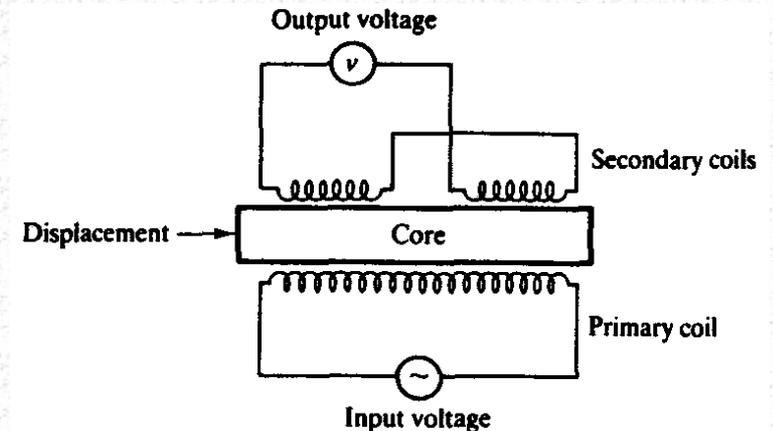
- É o transdutor indutivo mais largamente usado na indústria. Trata-se de um dispositivo electro-mecânico projectado para produzir uma tensão AC na saída proporcional ao deslocamento relativo do transformador e da armadura .
 - Comportamento linear
 - Disponível para medidas até 1 m com resolução praticamente infinita
 - Robusto



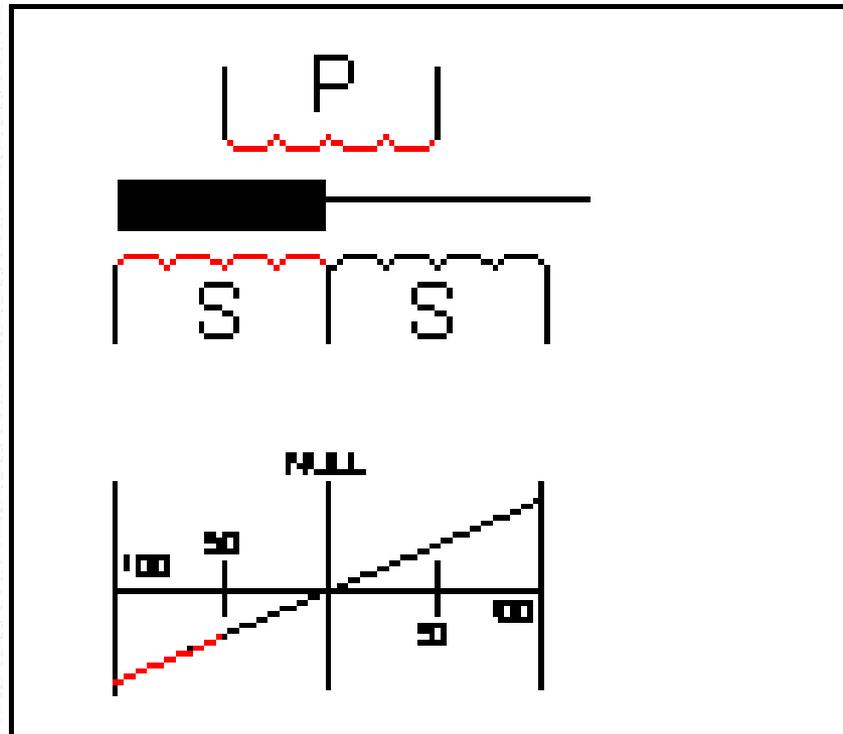
Transformer



Armature (Iron core)



Sensores de deslocamento



<http://www.rdpe.com/displacement/lvdt/lvdt-principles.htm>

■ Sensores de proximidade indutivos

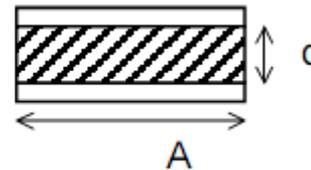
- O enrolamento indutivo é afectado pela presença de materiais ferromagnéticos.
- A proximidade de um material ferromagnético é determinada pela medida da indutância no enrolamento.



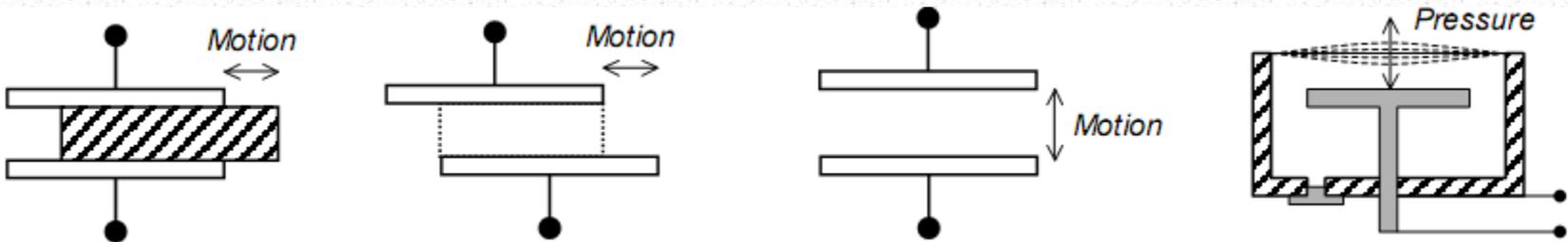
■ Sensores capacitivos

- A capacidade de um condensador é dada por

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

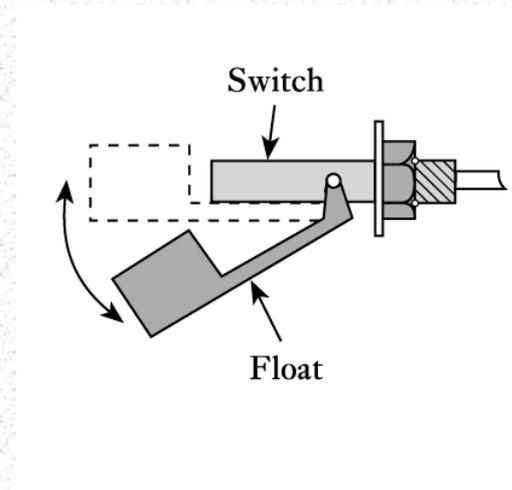
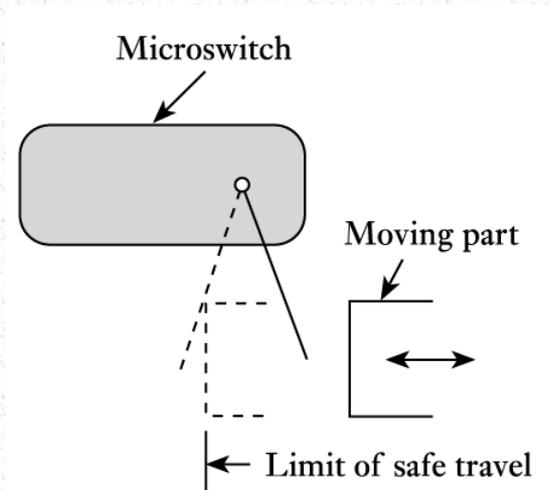


- d é a separação entre as placas, A é a área das placas, ϵ_0 e ϵ_r são a permissividade do ar e a permissividade relativa do dieléctrico respectivamente.
- O movimento de objecto ligados ao dieléctrico ou às placas provocam alterações de capacidade.

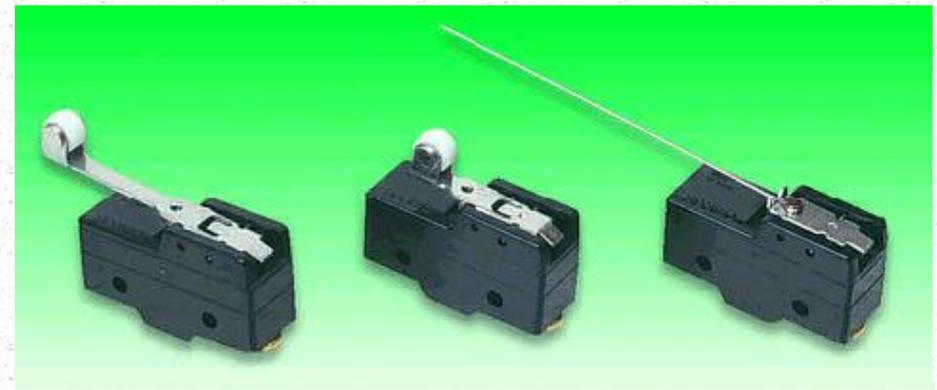
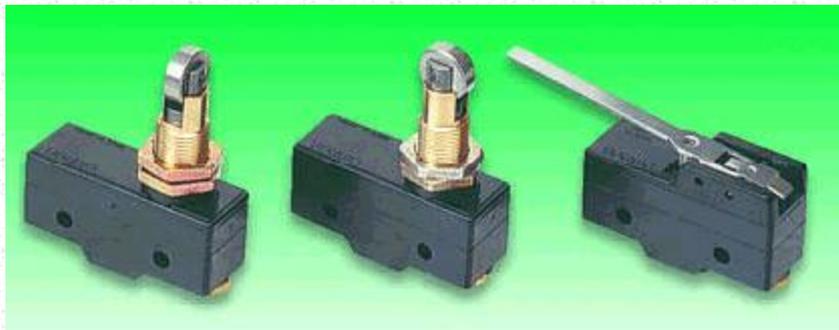


■ Medida de proximidade – detectores de fim de curso

- Sensor de deslocamento digital. Consoante a sua forma de funcionamento podem ser dividido em : microswitches, float switches, pressure switches, etc.

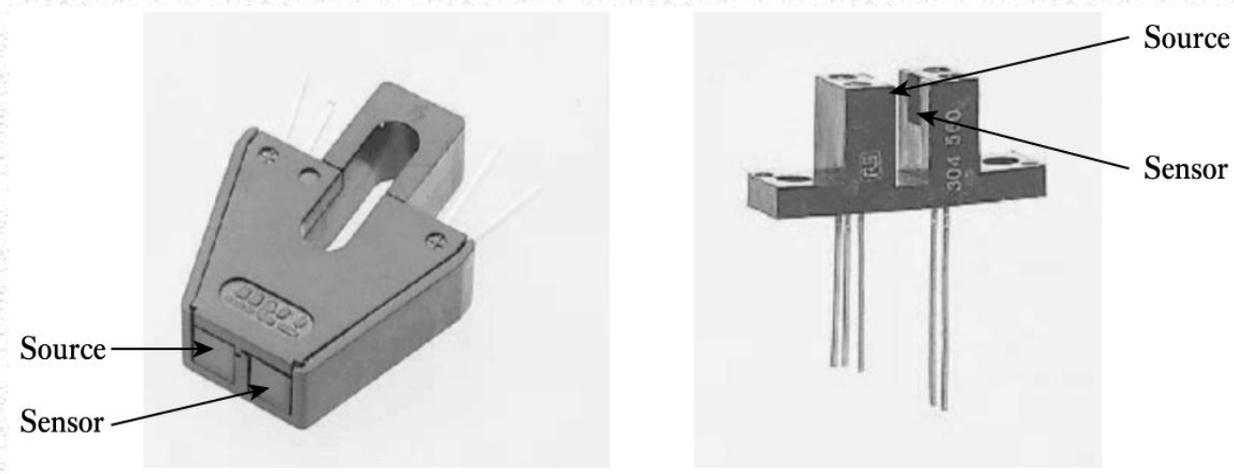


Sensores de deslocamento

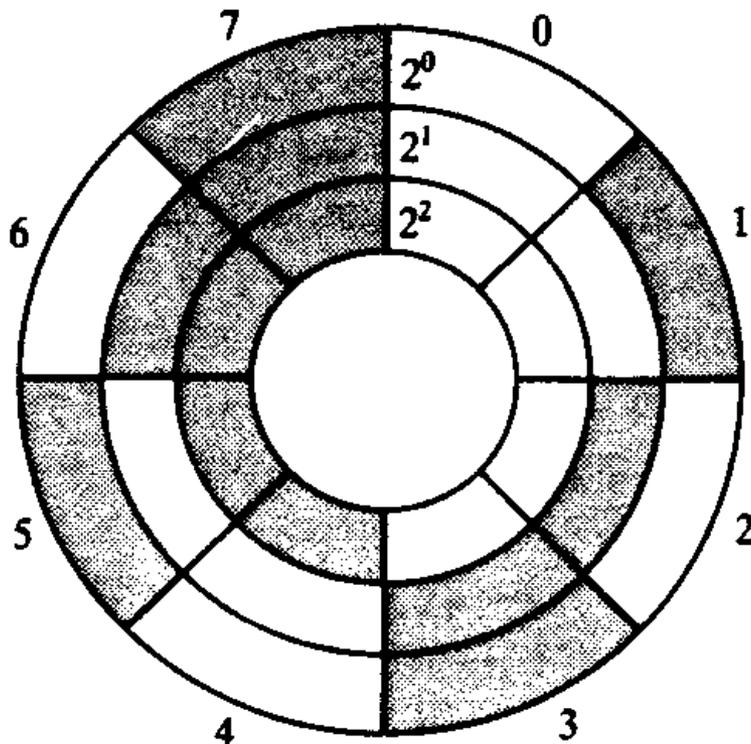


■ Opto-switches

- Consiste num emissor de luz e num sensor de luz juntos numa mesma unidade.

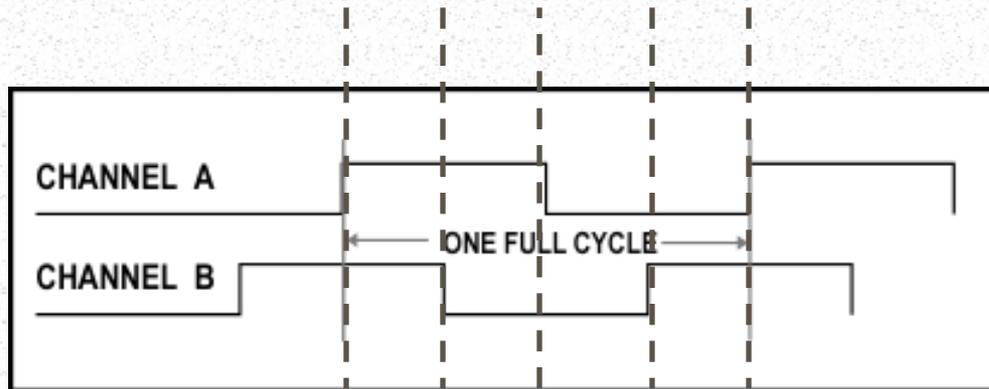


■ Codificador absoluto (Absolute position encoder)



Angulo	Binário	Decimal
0	000	0
45	001	1
90	010	2
135	011	3
180	100	4
225	101	5
270	110	6
315	111	7

Sensores de deslocamento



Sentido
directo

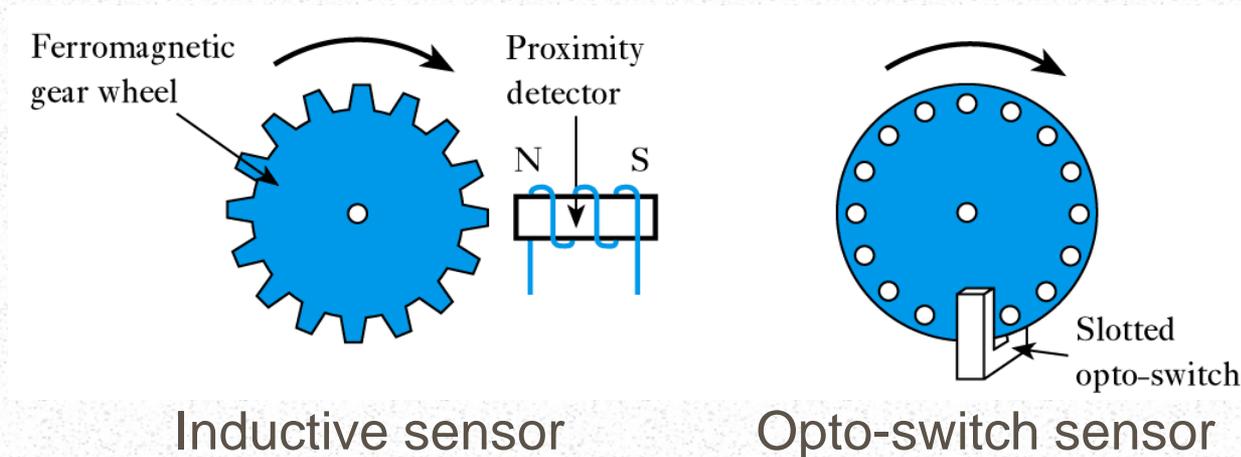


FROM	TO	FROM	TO
0,1	1,1	0,1	0,0
1,1	1,0	1,0	1,1
1,0	0,0	1,0	1,1
0,0	0,1	0,0	1,0

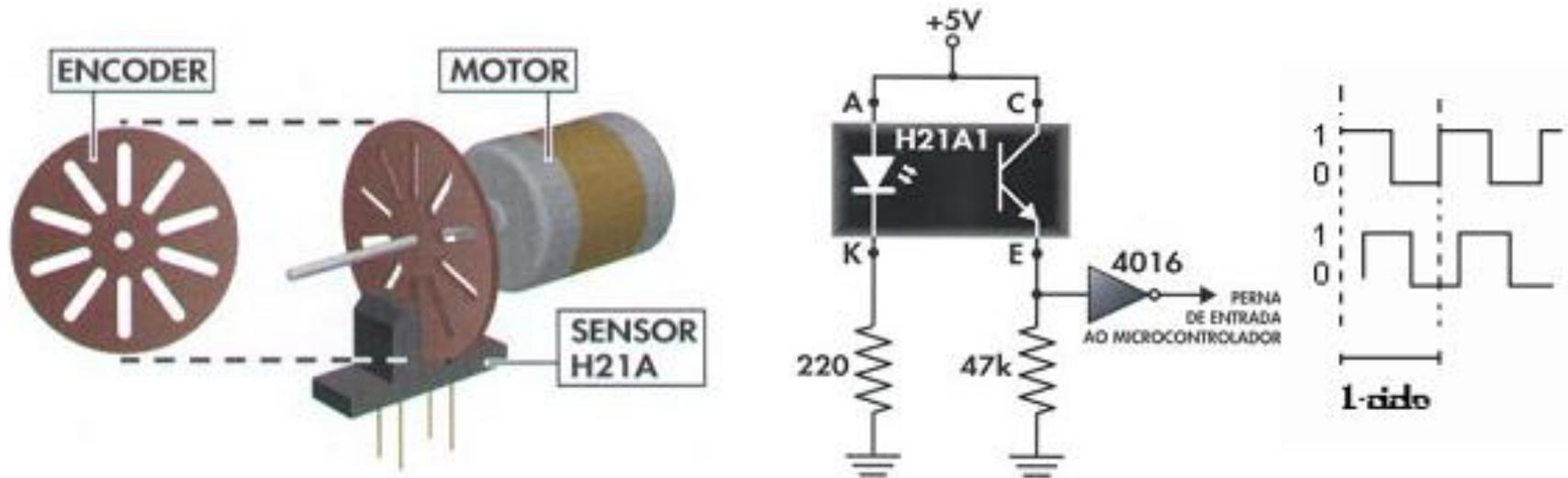
Sentido
inverso



- **Outras técnicas de contagem para determinar o deslocamento**
 - Diferentes métodos usam a contagem para determinar a posição.

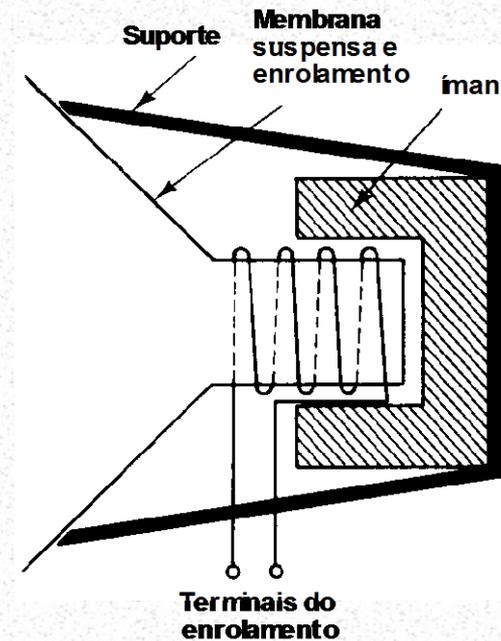


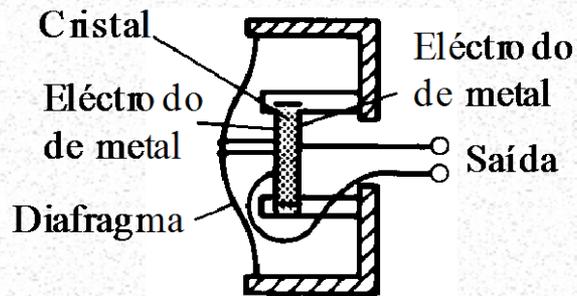
Sensores deslocamento



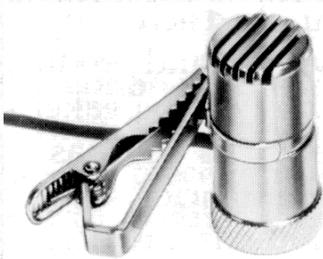
■ Microfones

- Existem microfones de diferentes tipos: Carbono (resistivos), capacitivos, piezoeléctricos, etc.

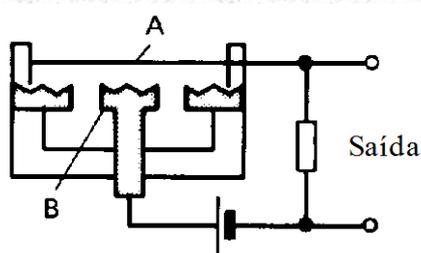




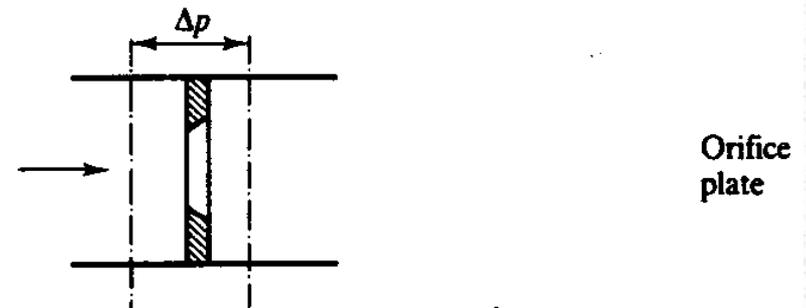
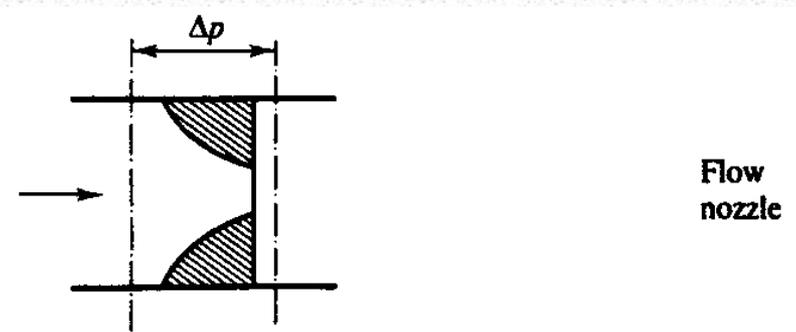
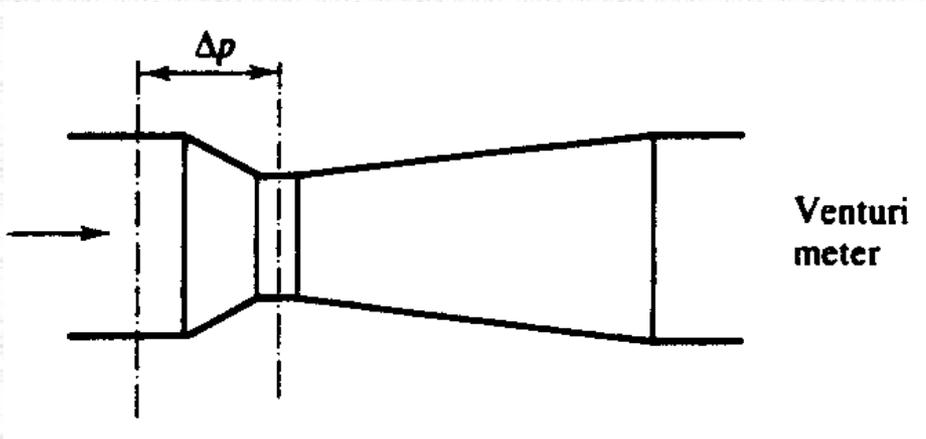
Estrutura básica de um microfone de cristal



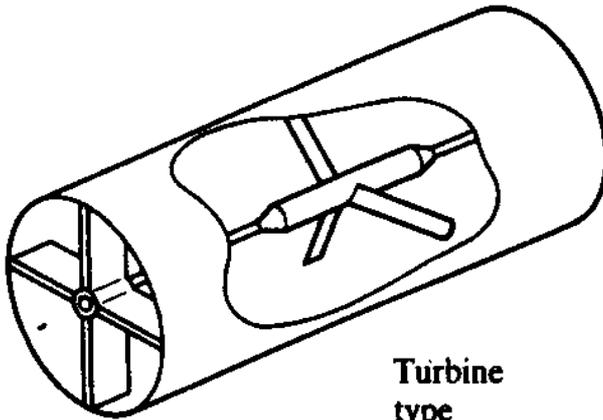
Estrutura básica de um microfone capacitivo



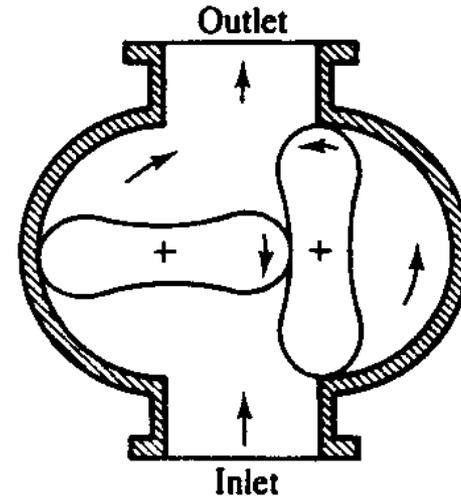
Medida por diferencial de pressão (medidores do tipo “Venturi”)



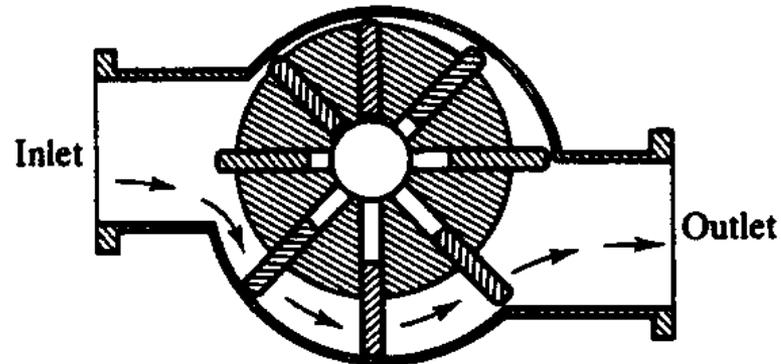
Medidores do tipo rotativo



Turbine
type

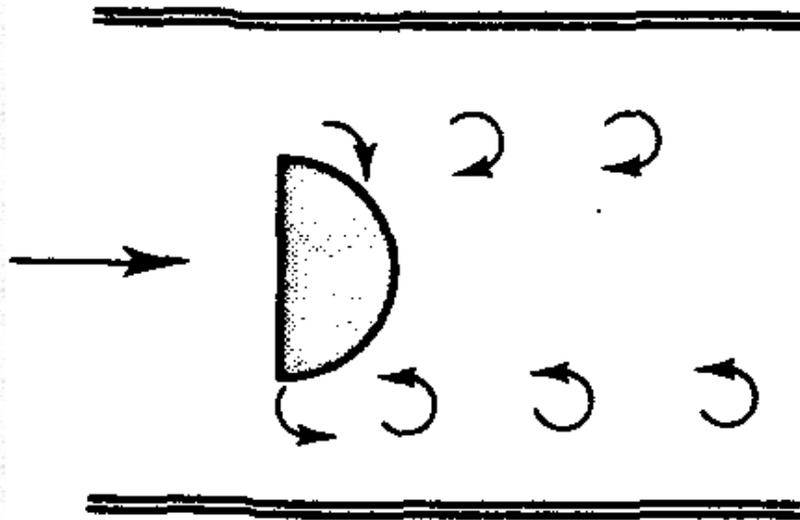


Lobed rotor
type

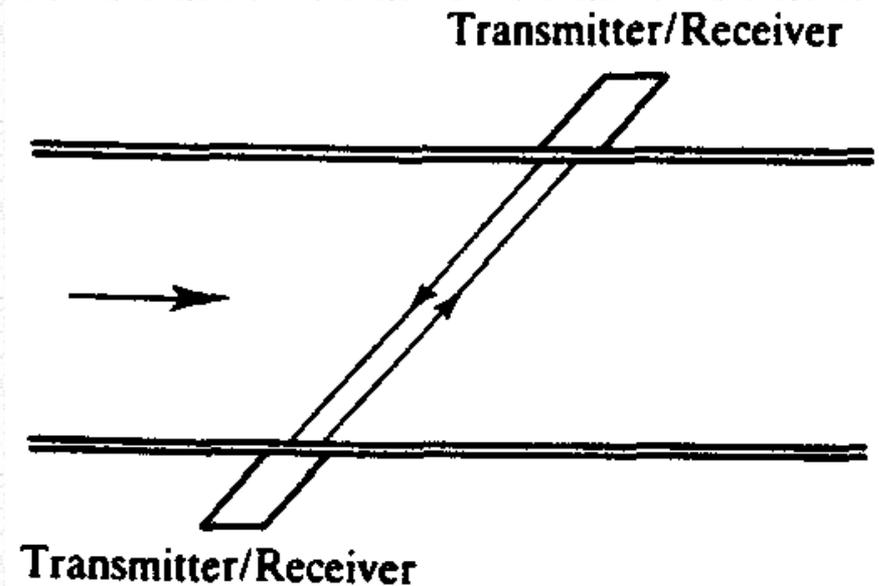


Rotary vane
type

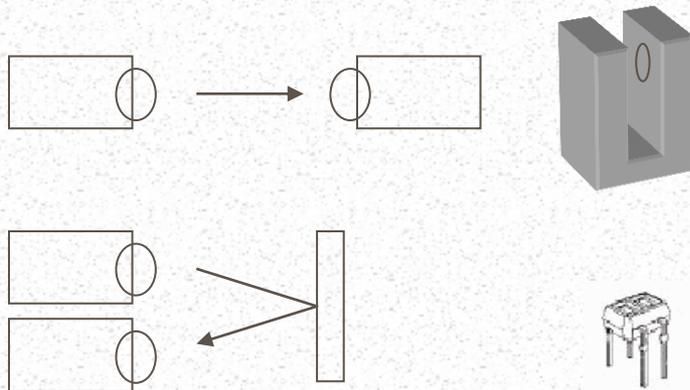
Dispositivos do tipo Vortex



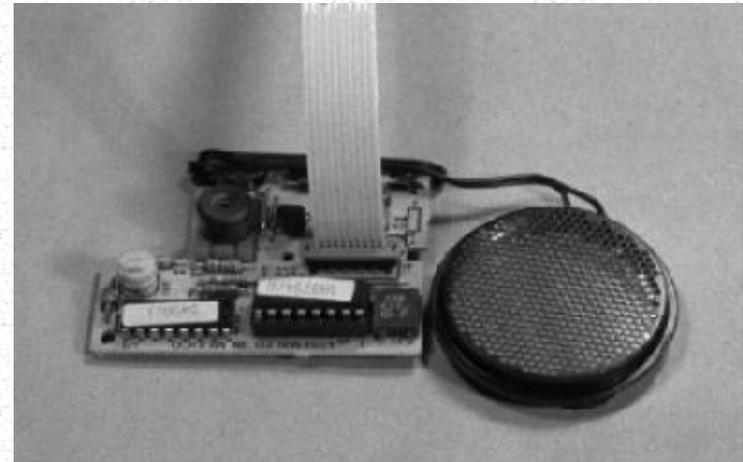
Medidores de caudal por ultra-sons



Sensores de distância



Infravermelhos



Ultrassons



Resumo

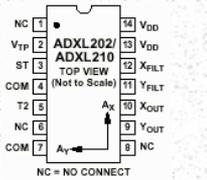


Universidade do Minho

Departamento de
Electrónica Industrial

- **Para medir temperaturas**
 - Termopares
 - RTDs (Resistance Temperature detectors)
 - Termistores
 - Sensores integrados em circuitos
- **Para medir intensidade da Luz**
 - Fotosensores
 - Células fotovoltaicas
- **Para medir som**
 - Microfones
- **Força e Pressão**
 - Extensómetros
 - Sensores piezoeléctricos
 - Células de carga

- **Para medir posição/deslocamento**
 - Potenciómetros
 - LVDTs
 - Sensores ópticos (infravermelhos, laser)
 - Ultrassons
- **Para medir caudais**
 - Medidores de fluxo rotacional
 - Medidores de fluxo ultrassons
- **Para medir PH**
 - Eléctrodos de PH



Accelerometer



Gyro



Pendulum Resistive Tilt Sensors



Piezo Bend Sensor



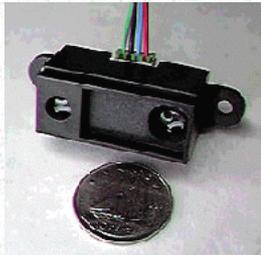
Metal Detector



Universidade do Minho
Gas Sensor
Departamento de
Electrónica Industrial



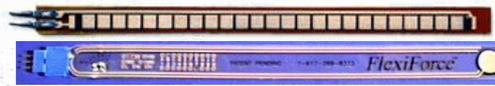
Gieger-Muller
Radiation Sensor



Digital Infrared Ranging



CDS Cell
Resistive Light Sensor



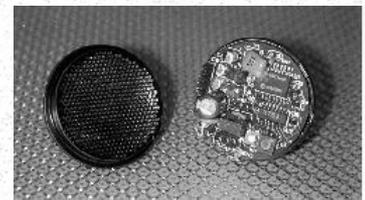
Resistive Bend Sensors



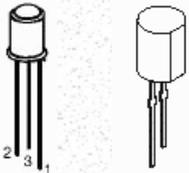
UV Detector



Pyroelectric Detector



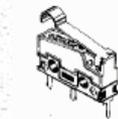
Miniature Polaroid Sensor



IR Pin Diode



IR Sensor w/lens



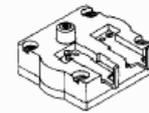
Limit Switch



Mechanical Tilt Sensors



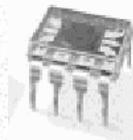
Touch Switch



Pressure Switch



IR Reflection Sensor



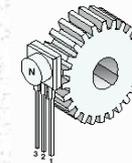
IR Amplifier Sensor



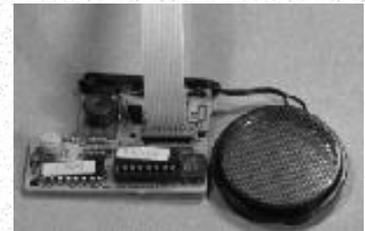
Thyristor



Magnetic Sensor



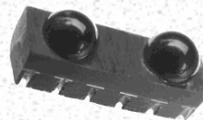
Hall Effect
Magnetic Field
Sensors



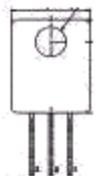
Polaroid Sensor Board



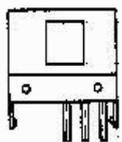
Magnetic Reed Switch



IRDA Transceiver



Lite-On IR
Remote Receiver



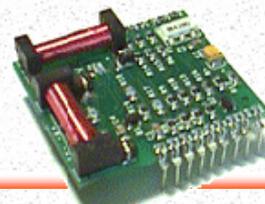
Radio Shack
Remote Receiver



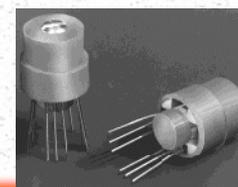
IR Modulator
Receiver



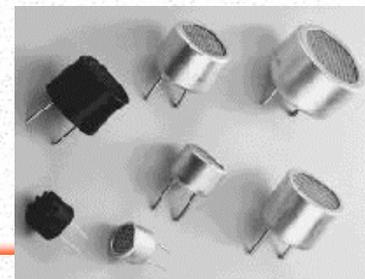
Solar Cell



DEI/Jaime Fonseca
Compass



Compass



Piezo Ultrasonic Transducers