

Sistemas Embarcados

Sensores e Atuadores

Tiago Piovesan Vendruscolo



Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito aos autores originais. [4.0 international](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

- Atuadores
 - Dispositivos que possibilitam a conversão de energia de uma forma em outra.
 - Elementos do sistema que modificam uma variável a ser controlada.
- Alguns dispositivos, embora sejam projetados para ser um sensor, também podem ser utilizados como atuador (e vice-versa), porém, com uma menor eficiência. Ex. alto-falantes, microfones, cristais piezelétricos, pastilhas peltier.

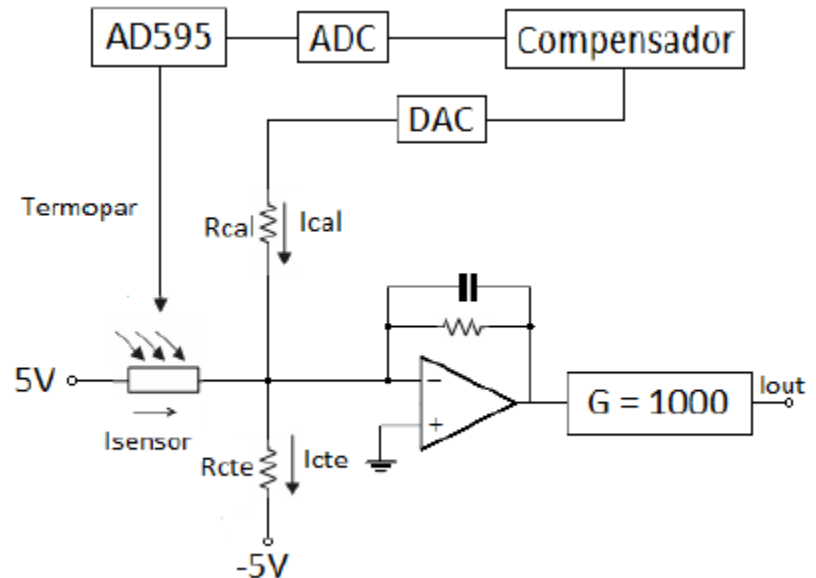
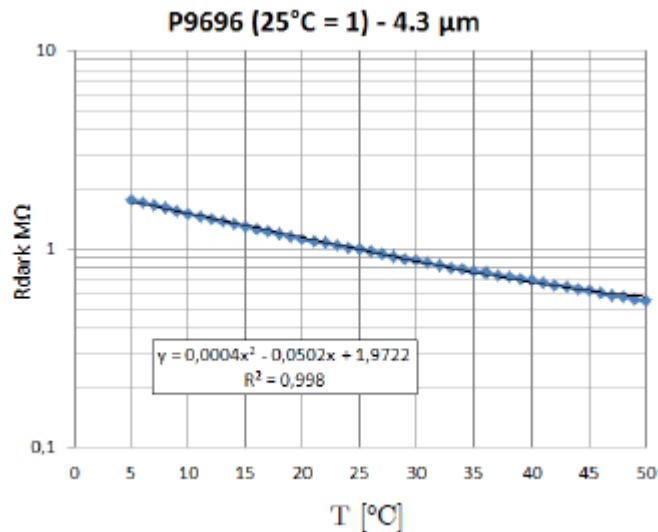
■ Sensores

- São dispositivos sensíveis a alguma forma de energia (temperatura, luz, movimento, etc), relacionando a grandeza a ser medida em uma informação que possa ser interpretada pelo sistema.
- São os elementos utilizados para medir e monitorar os parâmetros no meio em que o equipamento está instalado.

- Requisito ideal:
 - Seletividade: Ser sensível apenas às variações da grandeza de interesse.
 - A maior parte dos sensores são sensíveis à variação de temperatura.
 - Não influencie a grandeza a ser medida.

Estudo de caso - Seletividade

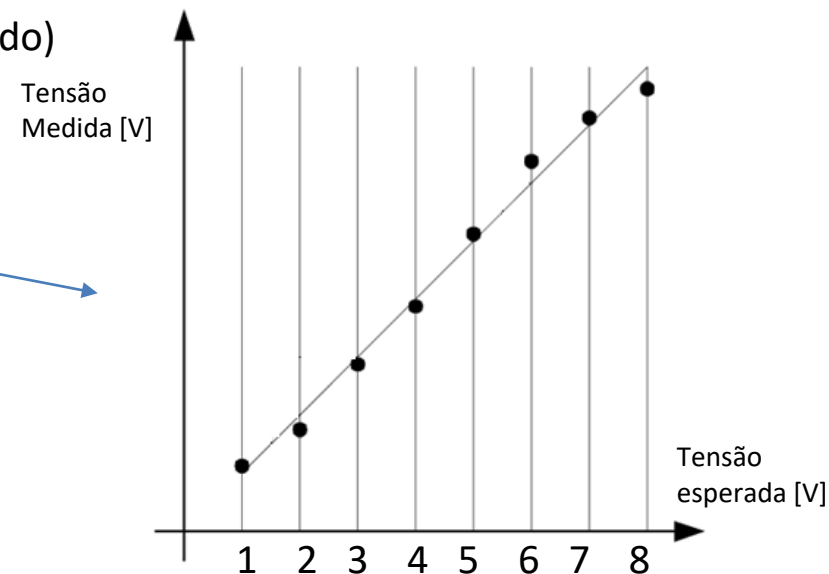
- Projeto: Medir a emissão no infravermelho médio.
- Problema: A saída do fotocondutor varia com a temperatura (*offset*). Como era necessário um alto ganho na amplificação ($G > 1000$), o sinal podia saturar com o *offset*.



$$I_{out} = I_{sensor} + I_{cal} - I_{cte}$$

I_{cte} : corrente gerada pelo resistor utilizada para zerar a corrente quando $T=5^{\circ}\text{C}$.

- Classificação dos erros:
 - As medidas de um sensor são sujeitas a desvios, porém devem ter as seguintes características bem definidas:
 - Estáticas
 - Acurácia ou exatidão (determinar a medida o mais próximo possível do verdadeiro)
 - Distorção (se altera ou não o sinal medido)
 - Mínimo sinal detectável
 - Não-linearidade
 - Sensibilidade
 - Seletividade
 - Dinâmicas
 - Erro dinâmico (aleatório, ruído)
 - Faixa de operação (amplitude, frequência)
 - Repetibilidade ou precisão: mostrar o mesmo resultado para a mesma medida



- Classificação dos Sensores
 - Forma da energia de entrada: mecânico (pressão), irradiação (luminosidade)...
 - Princípio de transdução: variação de resistência, stress de um material...
 - Material constituinte: Metálico, sensor químico...
 - Acurácia
 - Custo
 - Tipo de sinal de saída.

- Transmissores
 - Dispositivo que prepara a saída do sensor (ou transdutor) para o envio dos dados a longas distâncias.
 - Os padrões mais utilizados para sinais analógicos são: 4 a 20mA, 3 a 15 PSI, 0 a 20mA e 0 a 10V.
 - Qual o melhor? 4 a 20mA ou 0 a 20mA?
 - Para sinais digitais utiliza-se: HART, PROFIBUS-PA, F. FIELDBUS, RS-232, RS-485, etc.



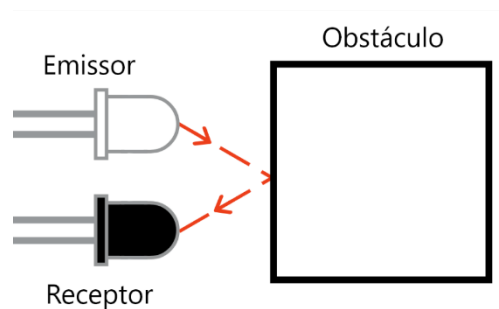
Tipos de Sensores

- De posição e orientação: Utilizados para determinar a posição/localização absoluta e a direção de orientação do equipamento.
 - Sistemas de Posicionamento: GPS - global positioning system (EUA), GLONASS (Rússia) e Beidou-2 (ou Compass – China)
 - Bússola
 - Inclinômetro/giroscópio
 - Triangulação
 - Beacon (marketing de proximidade).

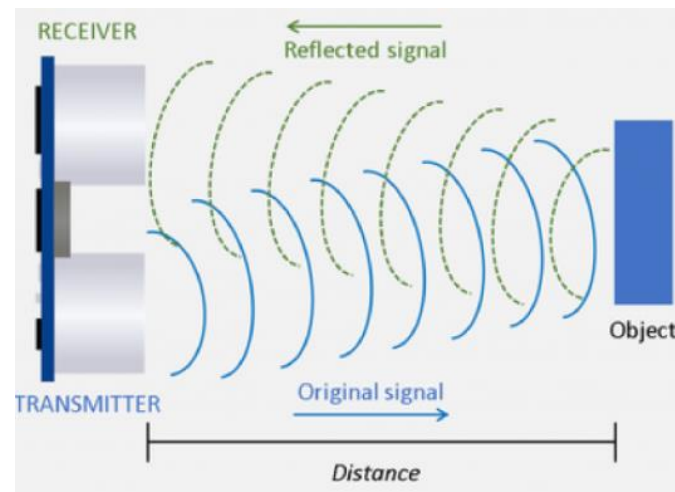


Tipos de Sensores

- De obstáculos: Determinam a distância/direção até um obstáculo.
 - Sensor Infravermelho
 - Ultrassom (Sonar)
 - Radar
 - Sensor Laser
 - Sistemas de visão estéreo (câmeras)
 - LIDAR



<http://mundoprojetado.com.br/sensor-de-obstaculo-infravermelho/>

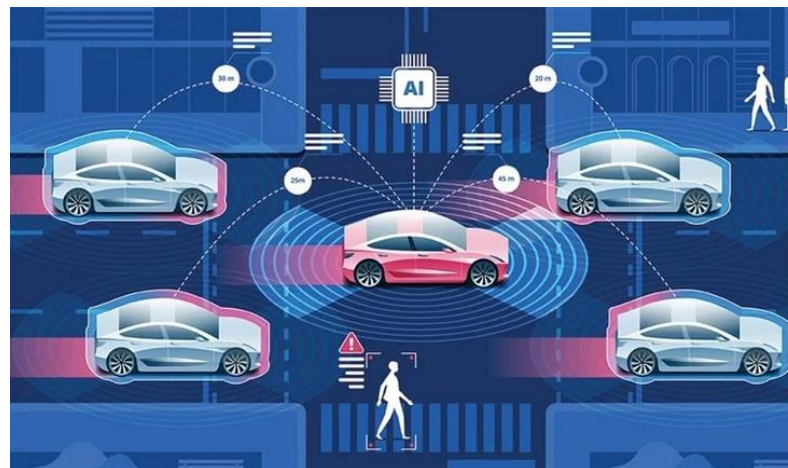


<https://osoyoo.com/2018/09/18/micro-bit-lesson-using-the-ultrasonic-module/>

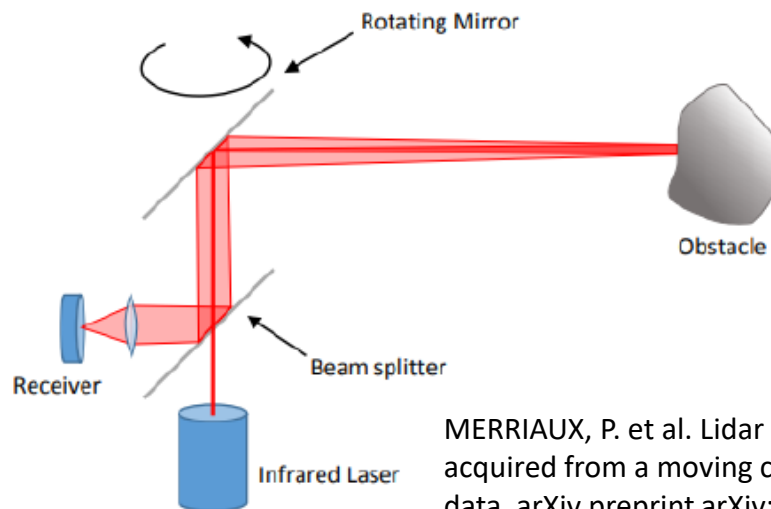
Tipos de Sensores

- De obstáculos: Determinam a distância/direção até um obstáculo.

- LIDAR



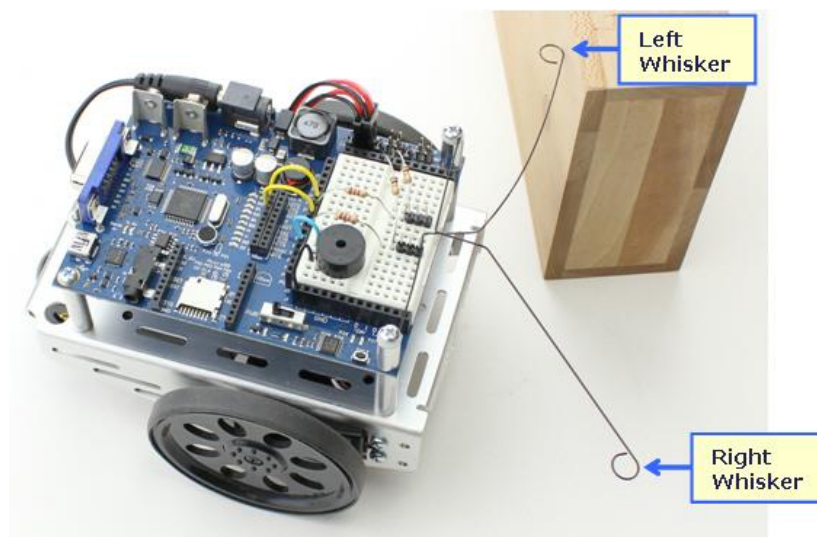
<https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=1110>



MERRIAUX, P. et al. Lidar point clouds correction acquired from a moving car based on can-bus data. arXiv preprint arXiv:1706.05886, 2017.

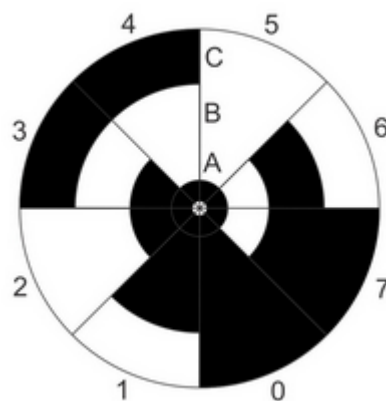
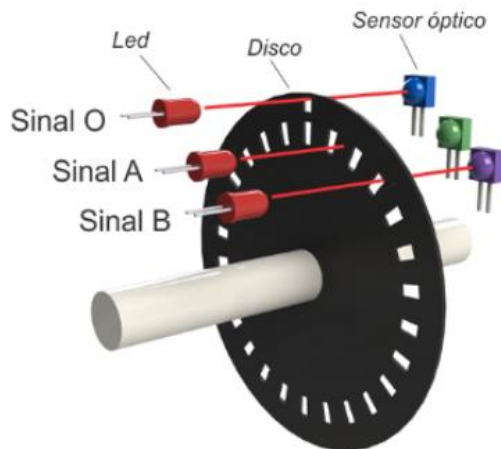
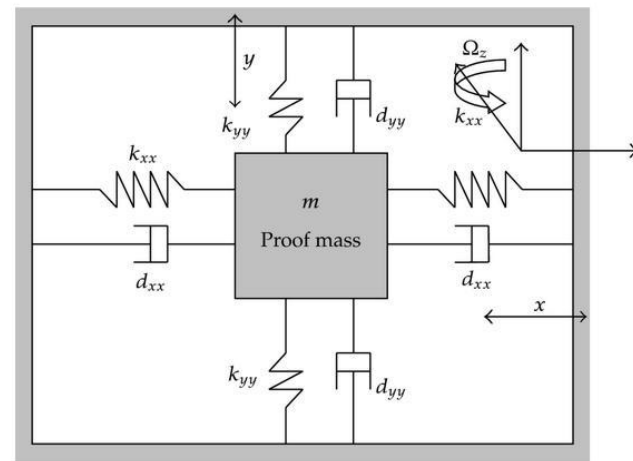
Tipos de Sensores

- De contato:
 - Bumpers, Switches
 - Antenas e “bigodes” (animal whisker)
 - Marcações óticas e magnéticas

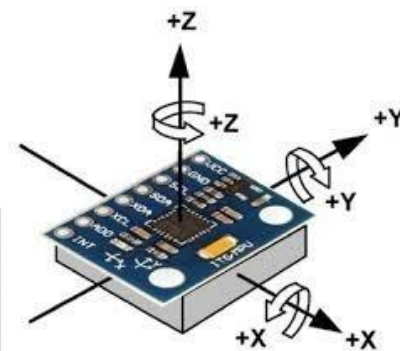


Tipos de Sensores

- De deslocamento e velocidade:
 - Inercial: Giroscópio (MEMS) e acelerômetros
 - Velocidade: Encoders (incremental e absoluto)
 - Potenciômetros (angular) – Ex: Slide 32 – Servos mot.
 - Sensores baseados em visão



Posição	A	B	C
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	1
3	0	1	0
4	1	1	0
5	1	1	1
6	1	0	1
7	1	0	0



<https://www.mokka-sensors.com.br/2020/03/27/encoders-incrementais-mokka-sensors/>

<http://eletricamentefalando.blogspot.com/2011/10/encoder.html>

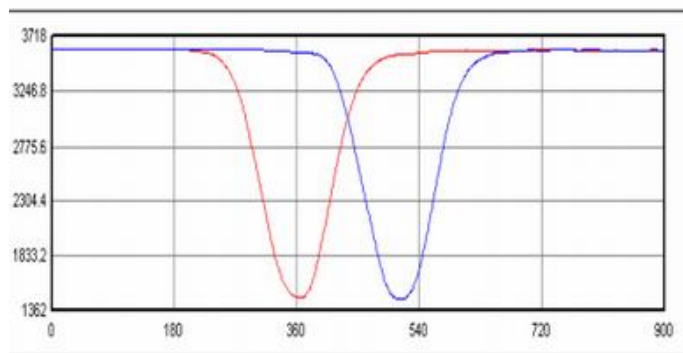
Tipos de Sensores

- Sensores indutivos:
 - Sensores indutivos: Utiliza um campo eletromagnético gerado por uma bobina para detectar a proximidade (e o tamanho) de metais. Geralmente funciona apenas em distâncias pequenas. Aplicações:
 - Detecção de presença ou ausência de um material metálico;
 - Detecção de passagem de material;
 - Detecção de fim de curso;
 - Identificação de materiais metálicos;
 - Leitura de posição (longa distância);
 - Limitação: Detecta apenas materiais metálicos.

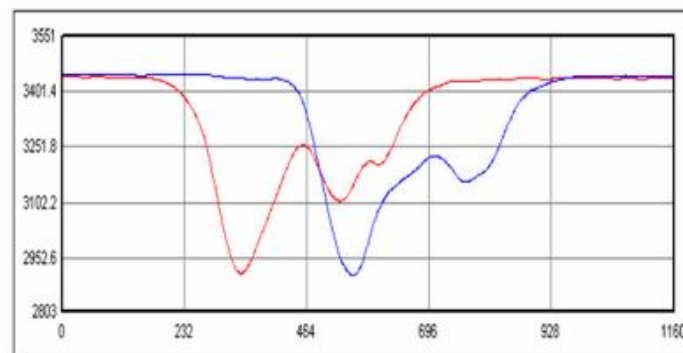


Tipos de Sensores

- Sensores indutivos:
 - Aplicação: Radar de velocidade:



(a) carro



(b) caminhão

Fonte: Dissertação de mestrado: RÉGIS EIDI NISHIMOTONOVAS GEOMETRIAS DE LAÇOS INDUTIVOS, UTFPR, Curitiba, 2006.

Tipos de Sensores

- Sensores capacitivos:
 - Baseia-se na mudança da capacitância gerada por um campo elétrico da placa detectora. Detecta materiais metálicos e não metálicos. Opera com distâncias menores que os sensores indutivos. Aplicações:
 - Concentração de poeira.
 - Medidor de umidade.
 - Monitoramento da concentração de gases.
 - Contagem de garrafas cheias ou vazias em uma linha de produção.
 - Medição de posicionamento.
 - Chave de fim de curso sem contato.



<https://www.eletrodex.com.br/ljc18a3-h-z-bx-sensor-capacitivo-npn-de-proximidade.html>

Tipos de Sensores

- Sensores capacitivos:
 - Vantagem: Detectam objetos e materiais líquidos, sólidos, gasosos, metais e não metais; Alta velocidade e resolução (tamanho do componente medido).
 - Desvantagem: Alta sensibilidade a fatores ambientais como: umidade, temperatura, poeira, etc.
- Comparação entre sensores indutivos e capacitivos:

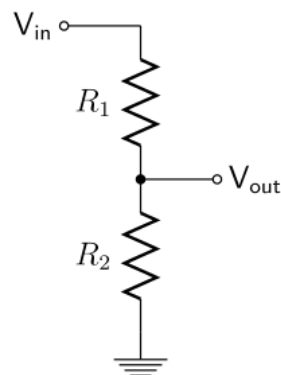
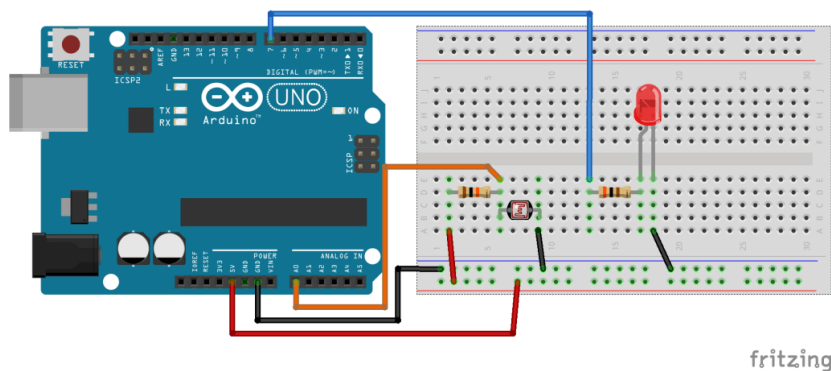
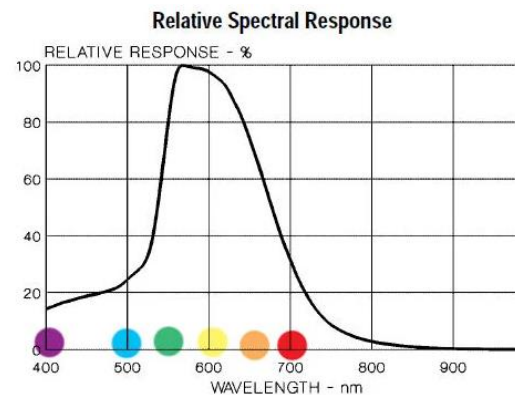
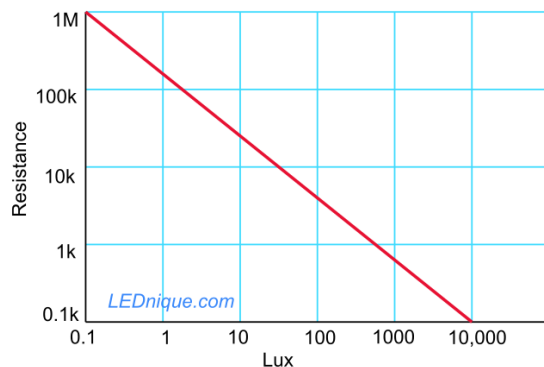
Fatores	Sensor Capacitivo	Sensor indutivo
Resolução	●	●
Variedade de materiais	●	●
Deteção de objetos pequenos	●	●
Facilidade de montagem	●	●
Alcance	●	●
Largura de banda	●	●
Custo	●	●
Ambientes sujos ou com poeira	●	●

Legenda: ● Ótimo ● Aplicável ● Inadequado

Fonte: <https://www.citisystems.com.br/sensor-capacitivo/>

Tipos de Sensores

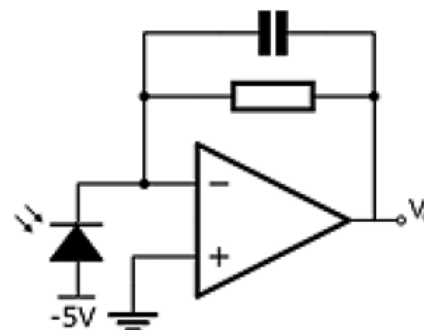
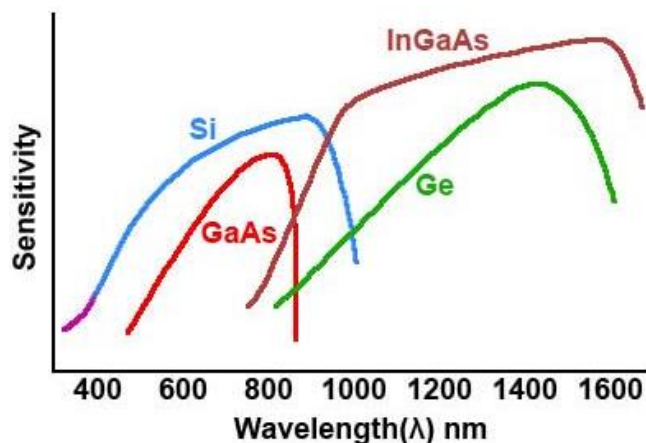
- Sensores de luz: LDR (Light-Dependent Resistor). Quanto maior a luz incidente no LDR, menor será sua resistência. Bastante utilizado para medir luz no espectro visível (CdS - Sulfeto de cádmio). Tempo de resposta na faixa de 20-50 ms.



$$V_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_i$$

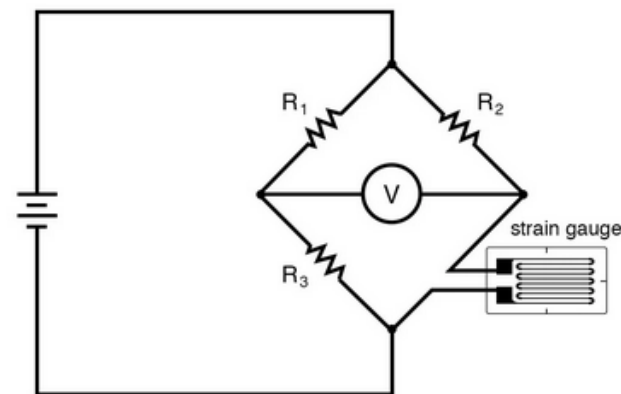
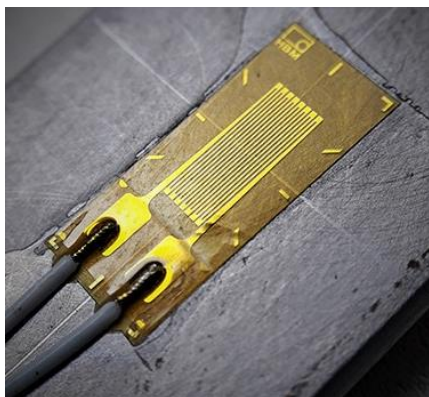
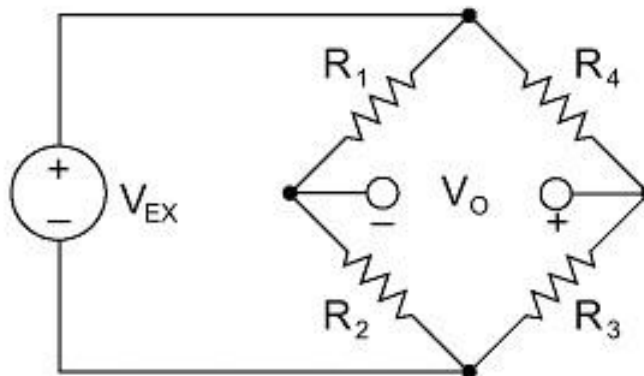
Tipos de Sensores

- Sensores de luz: Fotodiodo – Converte luz em corrente elétrica.
- Modos operação:
 - Modo fotovoltaico: O fotodiodo produz uma diferença de potencial entre seus terminais quando exposto à luz. Essa configuração é utilizada em painéis solares fotovoltaicos.
 - Modo de Polarização Reversa ou Fotocondutor: A corrente que passa pelo fotodiodo muda de acordo com a luminosidade. Tempo de resposta rápido, na ordem de ns.



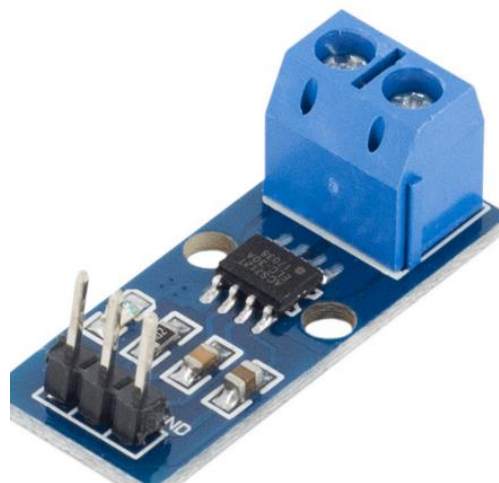
Tipos de Sensores

- Sensores de pressão: Strain gauge – Varia a resistência de acordo com a deformação, gerada pela pressão sofrida. A variação de resistência é muito pequena, então para conseguir medir a variação, é utilizada uma ponte de Wheatstone, que é, basicamente, dois divisores de tensão. Quando $R_1 / R_2 = R_4 / R_3$, a saída de tensão é zero e a ponte está balanceada. Qualquer mudança em uma das resistências irá desbalancear a ponte e gerar uma tensão na saída proporcional à deformação.

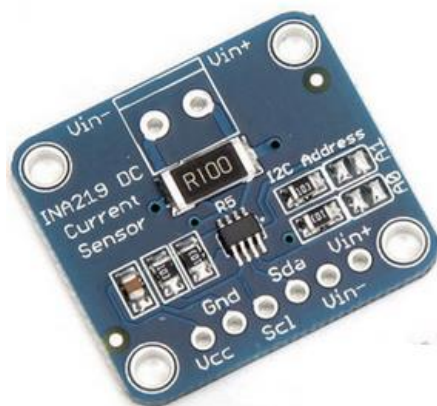


Tipos de Sensores

- Sensor de corrente:



ACS712 – Efeito Hall (corrente AC e DC), até 30A
Saída analógica



INA219 – Resistor Shunt (corrente DC)
Comunicação I2C - Até 3,2A

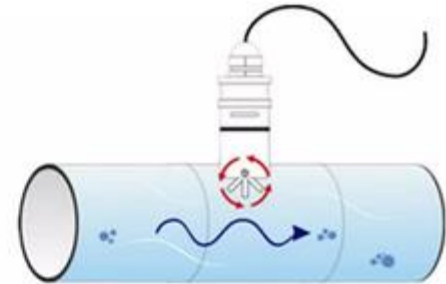


SCT-013 - Não invasivo – Corrente AC
Até 100A (dependendo o modelo)

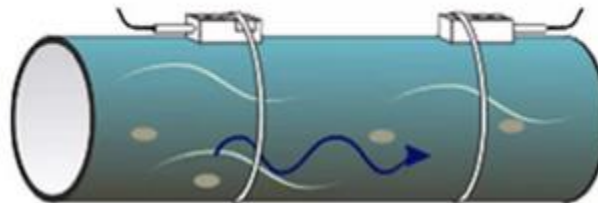
Fonte: <https://www.filipeflop.com>

Tipos de Sensores

- Sensor de vazão:



Tipo turbina



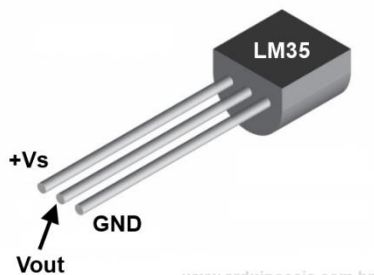
Tipo ultrassom

Tipos de Sensores

- Sensor de temperatura:



Termopar – analógico – compensador de junção fria
Junção de dois metais diferentes.



Termistor

NTC: resistência diminui com o aumento da temperatura

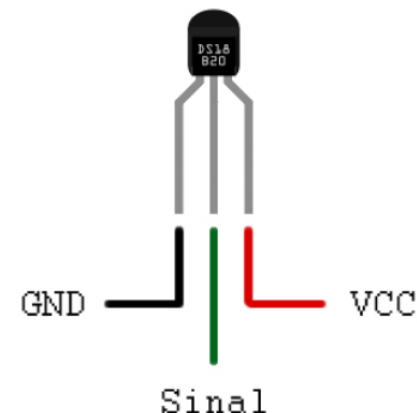
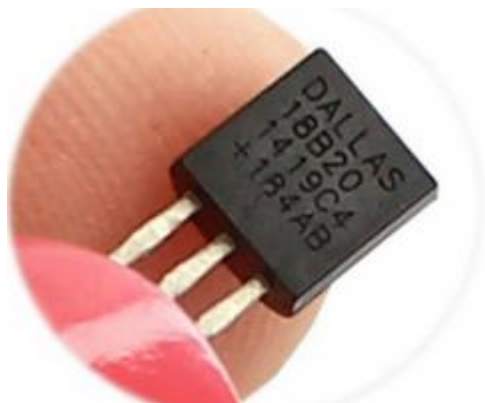
PTC: resistência aumenta com o aumento da temperatura

Descrição do fabricante	LM35
Tensão de Alimentação	4 - 30VDC
Escala de medição	°C - (Centígrados)
Fator de escala	10mV / °C
Range de resposta	-55°C à 150°C
Precisão	0,5°C
Consumo de corrente máximo	60uA

LM35

Tipos de Sensores

■ Sensor de temperatura:

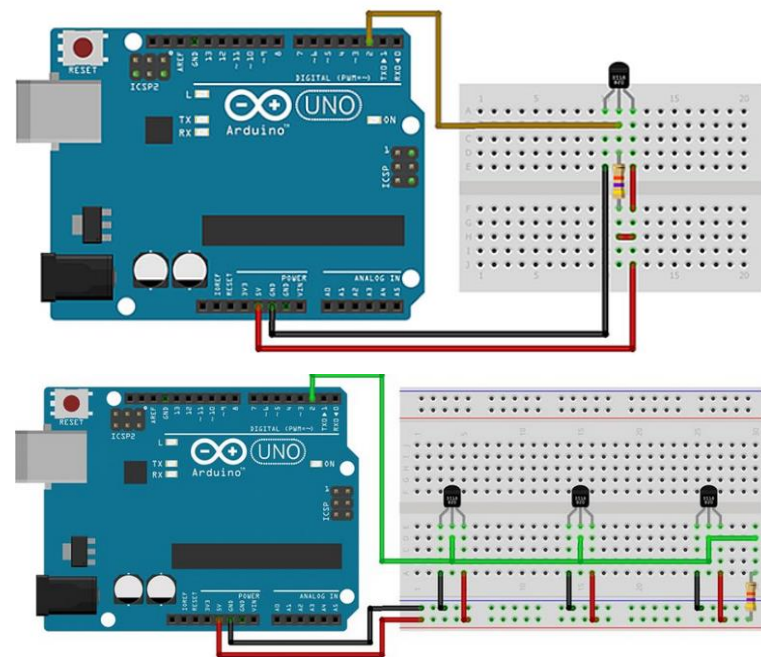


Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova D'água

- DS18B20
- Protocolo 1-wire
- Cada sensor possui um endereço único de 64 bits estabelecido em fábrica.
- Resolução: 0,5°C (9 bits), 0,25°C (10bits), 0,125°C (11 bits) e 0,0625°C (12 bits - padrão).
- Até 127 sensores no mesmo barramento.
- Tempo de conversão: 750ms em 12 bits.

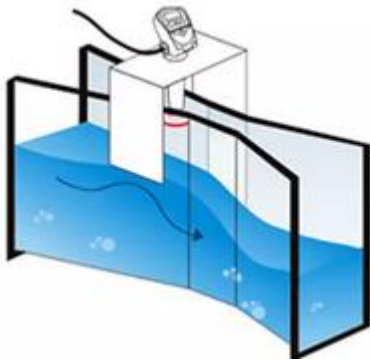
<https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-temperatura-arduino-ds18b20-comunicacao-onewire/>

<https://curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20Arduino/como-utilizar-o-ds18b20>



Tipos de Sensores

- Sensor de nível:



Capacitivo



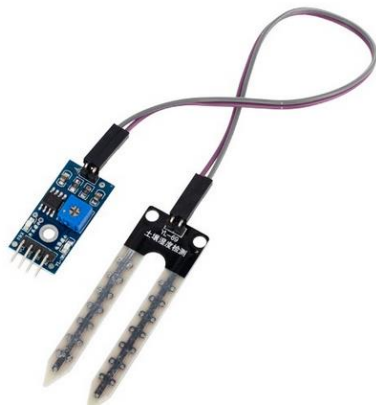
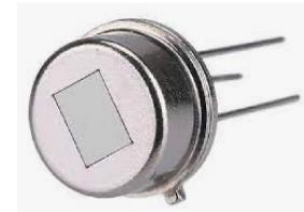
Tipo boia



Por pressão diferencial

Tipos de Sensores

- Outros tipos:
 - Sensores Magnéticos.
 - Sensores químicos, detecção de gás, pH.
 - Umidade do solo.
 - Sensor piroelétrico.
 - Termopilhas (medição de infravermelho).

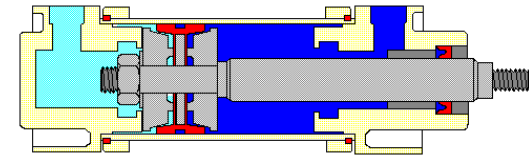
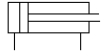


- É o componente pelo o qual o sistema consegue interferir no ambiente.
- Os atuadores são divididos nas seguintes categorias:
 - Válvulas: pneumáticas e hidráulicas
 - Relés: estáticos (estado sólido) e eletromecânicos
 - Cilindros: pneumáticos e hidráulicos
 - Motores: motor de passo, servo motor, CC
 - Válvulas solenoides.

- Tipo de acionamento:

- Acionamento elétrico

- Possuem menor força e velocidade quando comparados aos hidráulicos
 - Possuem maior precisão e repetibilidade
 - Utilização limpa
 - Exemplos: Motores de passo e servo motores



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cilindro_neum%C3%A1tico.gif

- Acionamento pneumático

- Baixo custo
 - Alta limitação de movimento (êmbolo)
 - Alta velocidade, força média



- Acionamento hidráulico

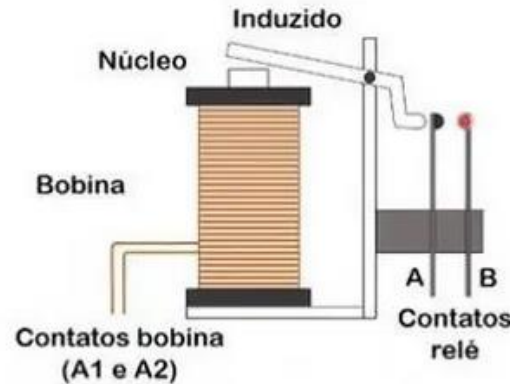
- Alto custo
 - Média velocidade de movimento
 - Grande valor de força



- Válvulas: pneumáticas, hidráulicas: Componente eletromecânico que quando energizado, abre uma válvula sob uma pressão de ar positiva ou negativa, de forma que possa acionar o cilindro atuador com um determinado nível de pressão.
- Válvulas solenoides: Geralmente funcionam por indução elétrica. Composto por um enrolamento de fio em torno de um eixo móvel, que ao ser energizado permite a passagem (ou não) do fluido.



- Relés eletromecânicos: A energização de uma bobina produz um campo magnético que faz abrir (se for NF) ou fechar (se for NA) fisicamente o circuito do relé.

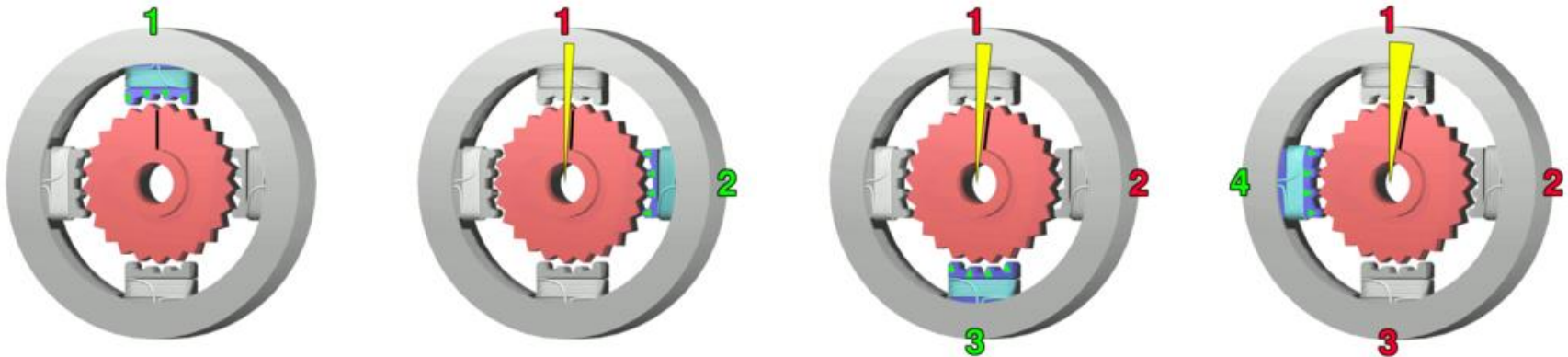


<https://www.mundodaeletrica.com.br/3523/o-que-e-rele-1-625.webp>

- Relés estáticos ou de estado sólido: Sua operação é através de tiristores, transistores ou triacs.
 - Vantagens: alta velocidade de comutação, baixa potência de acionamento, não gera ruído sonoro, menor ruído eletromagnético (não geram arco voltaico).
 - Desvantagens: Circuito de saída sensível, maior aquecimento, maior custo.

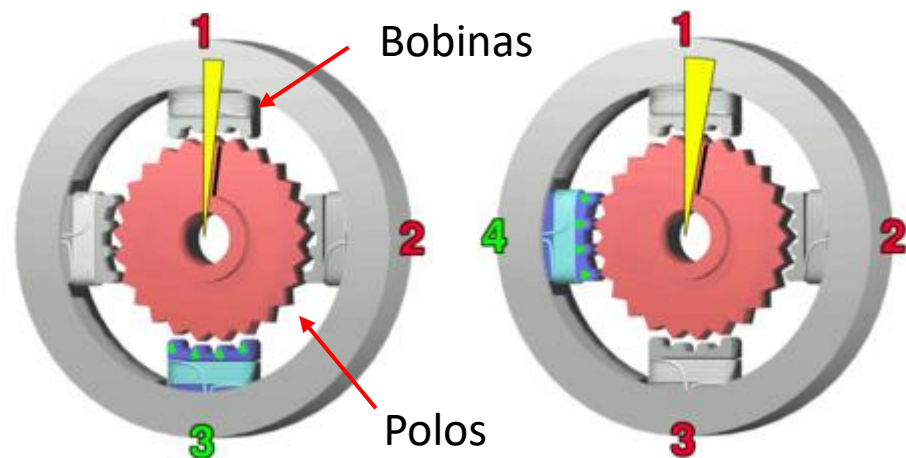
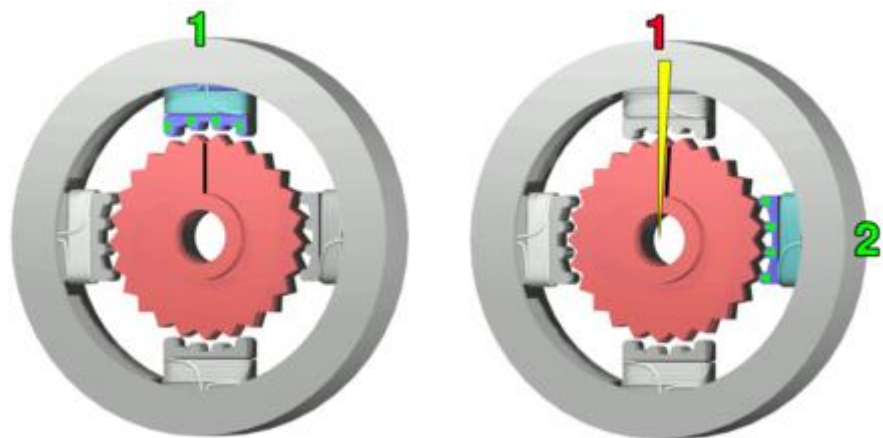
Atuadores - Motor de passo

- Motores de passo são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas.
 - A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos
 - Tamanho do ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados.



Atuadores - Motor de passo

■ Métodos de controle



• Passo completo 1 (Full Step)

Nº do passo	B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	0	0	0	8
2	0	1	0	0	4
3	0	0	1	0	2
4	0	0	0	1	1

• Passo Completo 2 (Full Step)

Nº do passo	B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	1	0	0	12
2	0	1	1	0	6
3	0	0	1	1	3
4	1	0	0	1	9

• Meio Passo (Half Step)

Nº do passo	B3	B2	B1	B0	Decimal
1	1	0	0	0	8
2	1	1	0	0	12
3	0	1	0	0	4
4	0	1	1	0	6
5	0	0	1	0	2
6	0	0	1	1	3
7	0	0	0	1	1
8	1	0	0	1	9

Atuadores - Motor de passo

- Características:
 - *Independência da carga* – Os motores de passo giram com uma dada velocidade independente da carga, desde que a carga não exceda o torque do motor.
 - *Posicionamento em malha aberta* – Os motores de passo se movem com incrementos ou passos que podem se quantificados. A posição do eixo é conhecida a todo tempo sem necessidade de um mecanismo de realimentação, desde que o motor funcione com o torque especificado.
 - *Torque estacionário* – Os motores de passo são capazes de manter o eixo estacionário, desde que o torque seja respeitado.
 - Excelente resposta a partida, parada e reversão de movimento.



Atuadores - Motor de passo

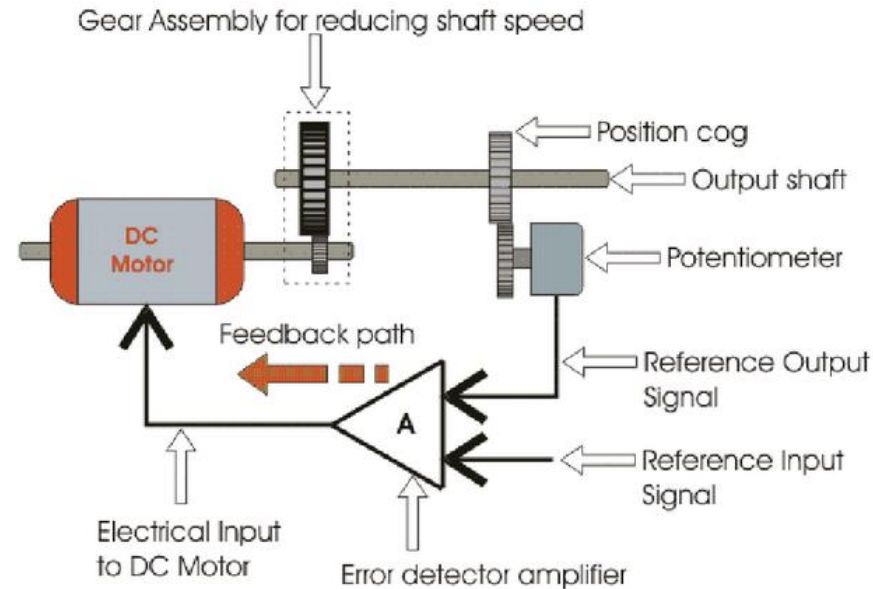
- Aplicações:
 - O ponto forte de um motor de passo não é sua força (torque), nem sua capacidade de desenvolver altas velocidades, mas sim a possibilidade de controlar seus movimentos de forma precisa.
 - Exemplo:
 - Impressoras (convencional e 3D), robôs, automação industrial, entre outros equipamentos que requerem precisão nos movimentos.

Atuadores – Servo motor

- Servo motores são motores com sistema de controle de posição ou velocidade em malha fechada incorporados.
- Os três tipos básicos de servo motores são:
 - Servo motores AC, que utilizam motores de indução;
 - Servo motores sem escovas AC, baseados em projetos com motores síncronos;
 - Servo motores DC, baseados em projetos com motores de corrente contínua;
- Servos motores são utilizados em situações onde é necessário um controle de posicionamento com alta precisão. Ex:
 - Piloto automático de veículos e aeronaves;
 - Navegação de mísseis e foguetes;
 - Articulação de robôs;
 - etc.

Atuadores – Servo motor

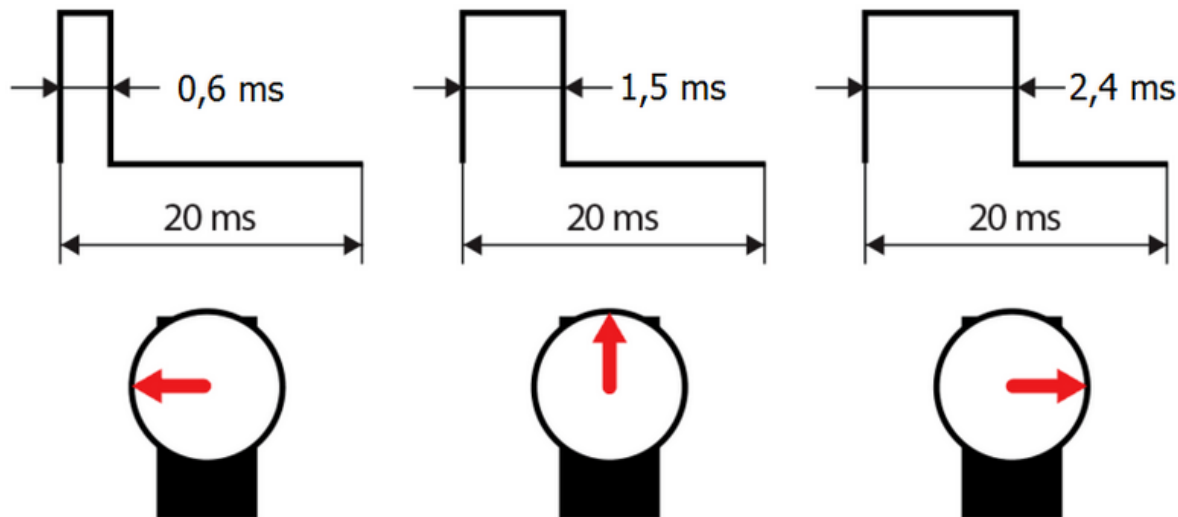
- Partes do servo motor:



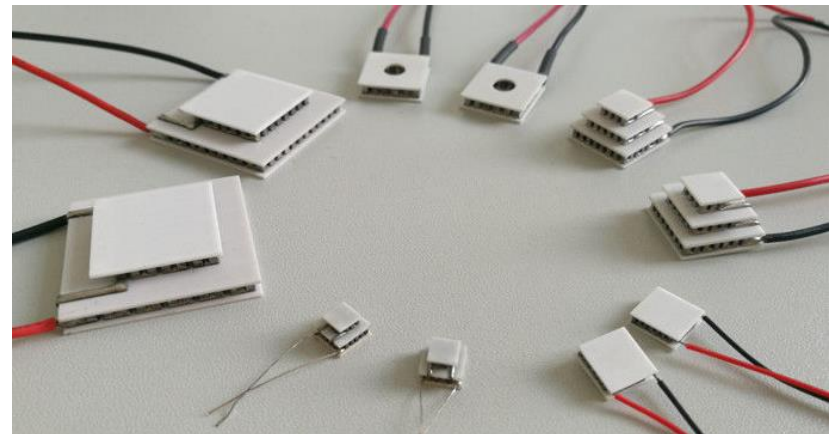
- Circuito de Controle** – Responsável pelo monitoramento do potenciômetro e acionamento do motor visando obter uma posição pré-determinada.
- Potenciômetro** – Ligado ao eixo de saída do servo, monitora a posição do mesmo.
- Motor** – Movimenta as engrenagens e o eixo principal do servo.
- Engrenagens** – Reduzem a rotação do motor, transferem mais torque ao eixo principal de saída e movimentam o potenciômetro junto com o eixo.
- Caixa do Servo** – Caixa para acondicionar as diversas partes do servo.

Atuadores – Servo motor

- O servo motor é alimentado com tensões de 5V e recebe um sinal de PWM.
- O circuito de controle do servo fica monitorando este sinal em intervalos de 20 ms. Se neste intervalo de tempo, o controle detecta uma alteração do sinal na largura do sinal, ele altera a posição do eixo para que a sua posição coincida com o sinal recebido.



- **Pastilhas termoelétrica peltier:** Produz um delta T na junção de dois condutores ou semicondutores. Uma face aquece enquanto a outra esfria. Deve-se utilizar dissipadores, principalmente na face quente.
 - Parâmetro importante: ΔT entre as faces. Para ΔT elevados, usa-se pastilhas com múltiplas camadas.
 - Invertendo a polaridade, inverte-se as faces que aquecem e resfriam.
- Efeito inverso: **Efeito Seebeck:** Gera uma diferença de potencial devido à diferença de temperatura das faces.
- É necessário o uso de fonte de alimentação com corrente alta:
 - Exemplo: TEC1-12706
 - Tensão: 15,2V.
 - Corrente: 6A.
 - Potência: 60W.
 - $\Delta T_{\max} = 70^{\circ}\text{C}$.



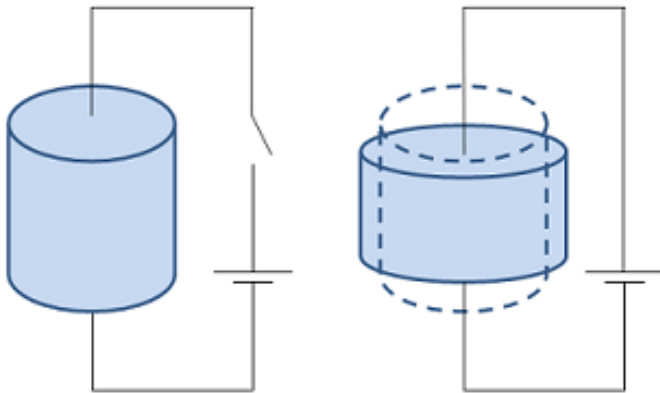
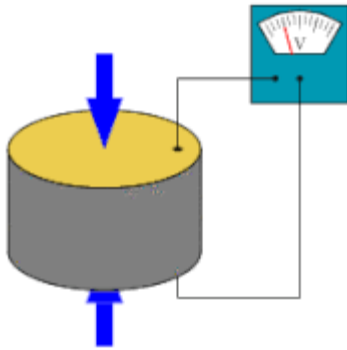
- **Cristais piezelétricos:** É um componente que quando é submetido a uma pressão, gera uma tensão elétrica momentânea (e vice-versa).
 - *Aplicações: balanças eletrônicas (sensor), sensores de ultrassom, umidificadores (atuador), etc.*

Curiosidade:

Tecnologia pioneira é testada em ciclovias de Curitiba para iluminar pistas com leds

A energia para acender os leds vem da vibração do piso, tanto do giro dos pneus das bikes quanto das pessoas que caminham por ele, onde estão instalados os sensores

Alex Silveira, especial para a Gazeta do Povo [20/07/2018] [21:15]



- Outros atuadores:
 - *Alto-falantes (também pode funcionar como microfone, e vice-versa)*
 - *Aquecedores;*
 - *Compressores (resfriadores);*
 - *Motores elétricos.*

Próxima aula

- Oficina de impressora 3D - Sala E208