

TUTORIAL APLICAÇÕES, FUNCIONAMENTO E UTILIZAÇÃO DE SENSORES

Autor: Luís Fernando Patsko
Nível: Intermediário
Criação: 14/12/2006
Última versão: 18/12/2006



Maxwell Bohr
Instrumentação Eletrônica

PdP

Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos

<http://www.maxwellbohr.com.br>
contato@maxwellbohr.com.br

<http://www.automato.com.br>
atendimento@automato.com.br

1 – Introdução

Em vários projetos desenvolvidos ao longo do curso de Mecatrônica e Robótica, o uso de sensores é muito interessante. Através de sensores, podemos fazer a leitura de determinadas características do ambiente, tais como a presença de um obstáculo no caminho de um robô, a temperatura de um motor ou o fato de uma porta estar fechada ou não, e responder de acordo com elas, ou seja, criar um sistema capaz de interagir com o ambiente.

Nesse tutorial, serão apresentados diversos tipos de sensores, desde modelos comuns até alguns mais elaborados, detalhando o seu funcionamento e explicando como podemos utilizá-los corretamente num circuito eletrônico ou no Kit. Também serão apresentadas algumas aplicações a que eles são geralmente destinados e dadas sugestões de onde eles podem ser aplicados.

2 – Sensores

Literalmente, podemos definir a palavra sensor como “aquilo que sente”. Na eletrônica, um sensor é conhecido como qualquer componente ou circuito eletrônico que permita a análise de uma determinada condição do ambiente, podendo ela ser algo simples como temperatura ou luminosidade; uma medida um pouco mais complexa como a rotação de um motor ou a distância de um carro até algum obstáculo próximo ou até mesmo eventos distantes do nosso cotidiano, como a detecção de partículas subatômicas e radiações cósmicas.

Os sensores podem ser classificados como um tipo de transdutor. Um transdutor é um componente que transforma um tipo de energia em outro. Um motor, por exemplo, é um tipo de transdutor, pois converte energia química ou elétrica em energia mecânica. Um alto-falante também é um transdutor, já que ele transforma energia elétrica em som. Porém, um sensor pode ser definido como um transdutor específico, que transforma algum tipo de energia (luz, calor, movimento) em energia elétrica, utilizada para a leitura de alguma condição ou característica do ambiente.

O desenvolvimento de sensores e a sua aplicação trouxe como consequência inúmeras vantagens ou comodidades para a vida moderna. Desde a possibilidade de aumentar a eficiência no funcionamento de um motor ou de uma linha de produção, realizar uma pesquisa científica com maior precisão e em menor tempo, até o fato de poder estacionar o carro sem o perigo de batê-lo ou de ter a segurança de que qualquer tentativa de furto de sua casa poderá ser frustrada, tais são as vantagens oferecidas pelo uso de sensores.

Apesar de ser imensa a variedade de sensores eletrônicos, podemos dividi-los basicamente em dois tipos: sensores analógicos e sensores digitais. Essa divisão é feita de acordo com a forma a qual o componente responde à variação da condição.

Os sensores analógicos são os dispositivos mais comuns. Tais sensores são assim designados pois baseiam-se em sinais analógicos. Sinais analógicos são aqueles que, mesmo limitados entre dois valores de tensão, podem assumir infinitos valores intermediários. Isso significa que, pelo menos teoricamente, para cada nível da condição medida, haverá um nível de tensão correspondente.

Por exemplo, quando um LDR, um dispositivo cuja resistência varia de acordo com a luminosidade, é submetido a uma luz cada vez mais intensa, pode-se verificar que sua resistência

diminuirá gradativamente. Utilizando um circuito divisor de tensão, podemos fazer com que através dessa variação da resistência, haja uma variação na tensão.

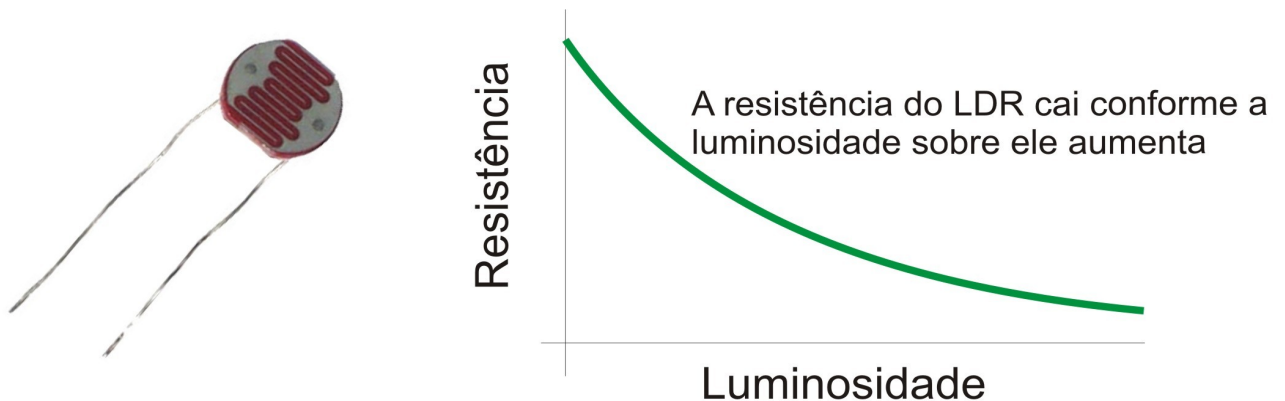


Figura 1: Um LDR é um sensor analógico.

Já os sensores digitais baseiam-se em níveis de tensão bem definidos. Tais níveis de tensão podem ser descritos como Alto (High) ou Baixo (Low), ou simplesmente “1” e “0”. Ou seja, esses sensores utilizam lógica binária, que é a base do funcionamento dos sistemas digitais. Ao contrário de um sensor analógico, onde os valores possíveis são teoricamente infinitos, um sensor digital poderá apenas alternar entre certos estados bem definidos, não sendo possível haver um valor intermediário entre eles.

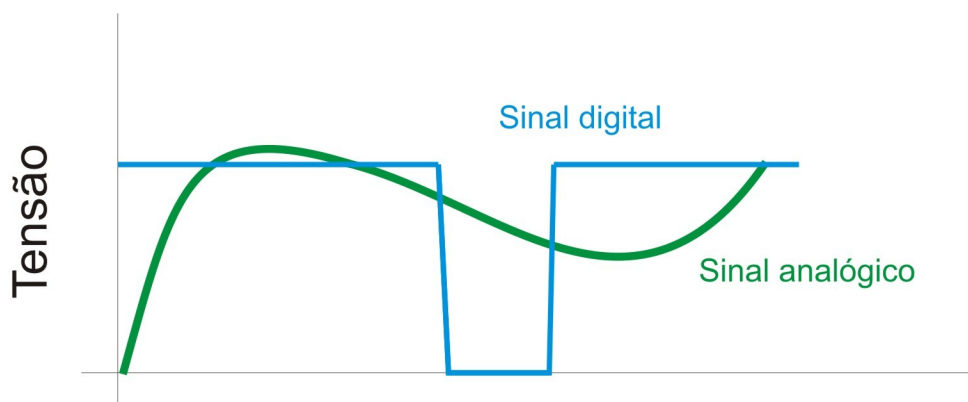


Figura 2: Comparação de um sinal analógico com um digital.

Um par óptico, constituído por um emissor e receptor de infravermelho, é um exemplo de um sensor digital simples, onde apenas dois estados são possíveis. Se o feixe de infravermelho atinge o receptor, teremos um nível de tensão baixo. Quando algo bloqueia o caminho do feixe, temos um nível de tensão alto. Não há um nível de tensão intermediário entre ambos.

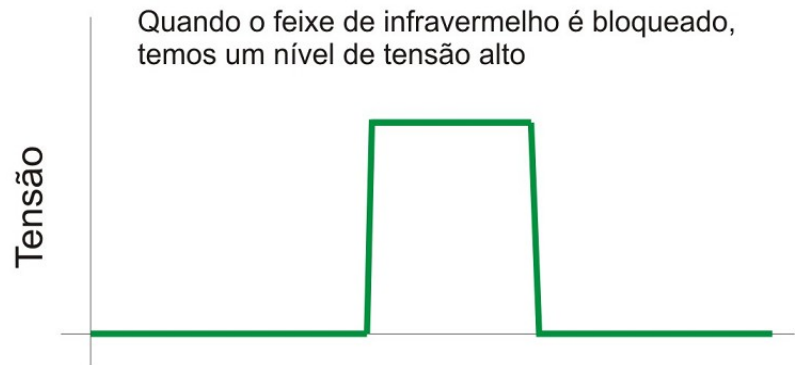
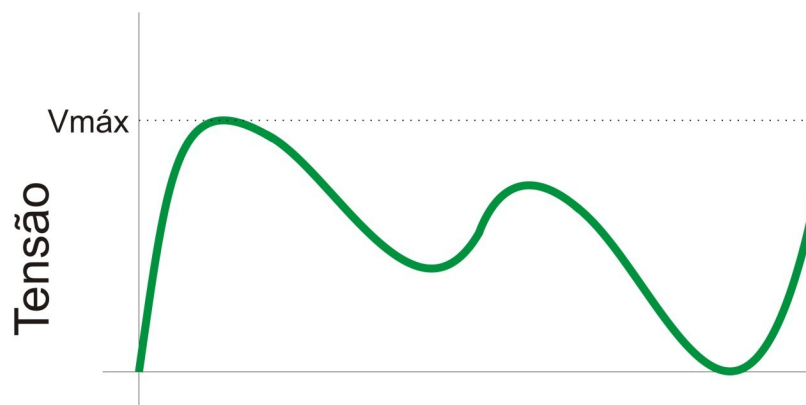


Figura 3: Um par óptico é um sensor digital simples.

Existem, porém, sensores digitais mais complexos. Enquanto que um sensor digital simples apenas indica se está acionado ou não, os modelos mais complexos podem alternar entre várias respostas distintas respondendo de forma mais elaborada, enviando valores binários mais complexos. Eles comunicam-se com outros sistemas de forma mais complexa, podendo enviar informações como temperatura ou aceleração, por exemplo.

3 – Sensores Analógicos

Como já foi explicado anteriormente, os sensores analógicos são aqueles que respondem através de sinais analógicos, ou seja, sinais que, mesmo limitados em uma certa faixa, podem variar entre inúmeros valores de tensão intermediários.



Mesmo limitado entre dois níveis de tensão, um sinal analógico pode assumir diversos valores intermediários.

Figura 4: Um exemplo de sinal analógico.

Num sensor analógico “ideal”, para a variação de uma determinada condição, haverá uma variação na mesma proporção de alguma de suas propriedades, como tensão ou resistência. Os

sensores “reais” porém, estão sujeitos à influências de diversos tipos e possuem certas limitações ao seu funcionamento, não funcionando de forma tão perfeita. Fatores como a temperatura e a umidade do ambiente podem gerar certos erros de medida e os materiais utilizados em sua construção limitam a sensibilidade e a faixa de operação do componente.

Podemos notar que grande parte dos sensores são analógicos, pois quase todos os parâmetros que serão medidos também o são. A luminosidade de um ambiente, por exemplo, pode assumir infinitos valores entre a luz intensa e a escuridão total. A velocidade de um objeto, mesmo estando limitada entre o 0 e a velocidade da luz, pode assumir qualquer valor intermediário.

A utilização desses sensores num circuito analógico é realizada sem problemas, porém, quando for necessário monitorá-lo através de algum circuito digital, como um microcontrolador ou um computador, esses sinal deverá ser convertido num sinal digital equivalente. Isso porque o funcionamento desses sistemas baseia-se em sinais digitais, que podem ser gravados e processados muito mais facilmente do que os analógicos. Tal conversão será melhor detalhada ao descrevermos a conexão desses sensores ao Kit.

Podemos classificar os sensores analógicos de acordo com o modo o qual respondem às variações. Tal resposta deverá ser na forma da variação de alguma propriedade elétrica, como resistência, tensão, capacitância, dentre outros.

Os sensores resistivos são aqueles que em circuitos comportam-se como resistores, mas, devido a certas propriedades físicas ou químicas, variam o valor de sua resistência de acordo com certas características, como luminosidade ou temperatura. Esses são os modelos mais comuns, dentre os quais podemos destacar o LDR, o termistor, o sensor de peso e o potenciômetro. Já os sensores piezoelétricos, como alguns tipos de microfone e o sensor de vibração, respondem com uma variação na tensão. Esses sensores são feitos com materiais que, quando submetidos a certas pressões ou vibrações, geram uma tensão.

Existem também sensores capacitivos, onde a variação de determinada condição ocasiona uma variação na capacitância do componente. Essa variação na capacitância pode ocasionar a mudança da tensão ou da frequência do sinal de saída do sensor. Dentre eles, podemos destacar o acelerômetro e o sensor de umidade.

Além desses sensores, existem também alguns cujo funcionamento é um pouco mais complexo, pois baseiam-se em outras propriedades e possuem circuitos internos específicos para gerar um sinal de saída adequado. Dentre eles, podemos citar o sensor de distância e o sensor de temperatura LM60. Tais sensores utilizam circuitos integrados para realizar a leitura, mas sua resposta é em forma de um sinal analógico.

A partir de agora, detalharemos os sensores analógicos, mostrando o seu funcionamento, aplicações e explicando como eles podem ser utilizados.

LDR

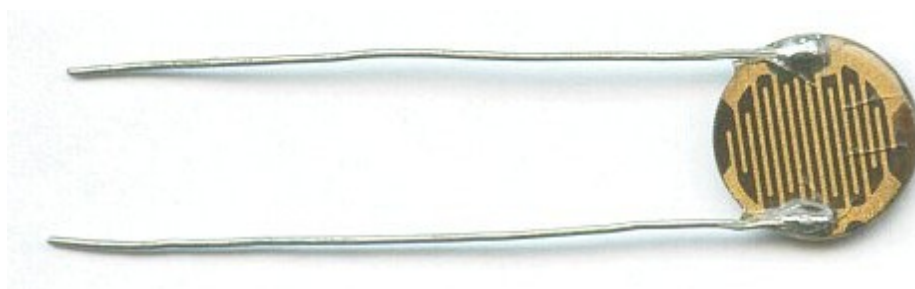


Figura 5: LDR

O exemplo mais comum de sensor resistivo é o LDR (*Light Dependent Resistor* – Resistor Dependente de Luz), um componente onde uma variação na luminosidade que incide sobre ele resulta numa variação na sua resistência.

A aplicação mais conhecida do LDR é, sem dúvida, na iluminação pública, onde ele é utilizado para que, de acordo com a claridade do ambiente, sejam acionadas ou desligadas as lâmpadas automaticamente, sem que haja a necessidade de alguém para controlá-las. Os LDRs são também utilizados em câmeras para medir o nível de luz do ambiente, permitindo assim o controle do tempo de exposição para a captura de uma boa imagem. Utilizações menos usuais desses componentes foram em mísseis que seguem o calor emanado pelos aviões e em detectores de radiação infravermelha para pesquisas astronômicas.

O LDR não tem pinagem, ou seja, podemos ligar seus terminais de qualquer forma. Ele é representado em esquemas eletrônicos com o seguinte símbolo.



Figura 6: Símbolos do LDR utilizados em esquemas eletrônicos. À esquerda a simbologia americana e à direita a europeia.

Os LDRs são compostos por sulfeto de cádmio (CdS), um material semiconductor, que é disposto num traçado ondulado na superfície do componente. Esse material tem a propriedade de diminuir sua resistência à passagem da corrente elétrica quando a luminosidade sobre ele aumenta. Com o auxílio de um multímetro, podemos verificar facilmente como ocorre esse fato. Num ambiente escuro, sua resistência será alta, podendo chegar a valores altos, próximos ou até superiores a 1 M Ω . Mas se aumentarmos gradativamente a intensidade da luz que incide sobre ele, podemos verificar que sua resistência cairá, podendo chegar a valores próximos de 1 k Ω . Esses valores, no entanto, dependem de vários fatores, como o componente utilizado, a quantidade de luz no ambiente e o próprio multímetro. Podemos verificar abaixo o gráfico de resposta do LDR.

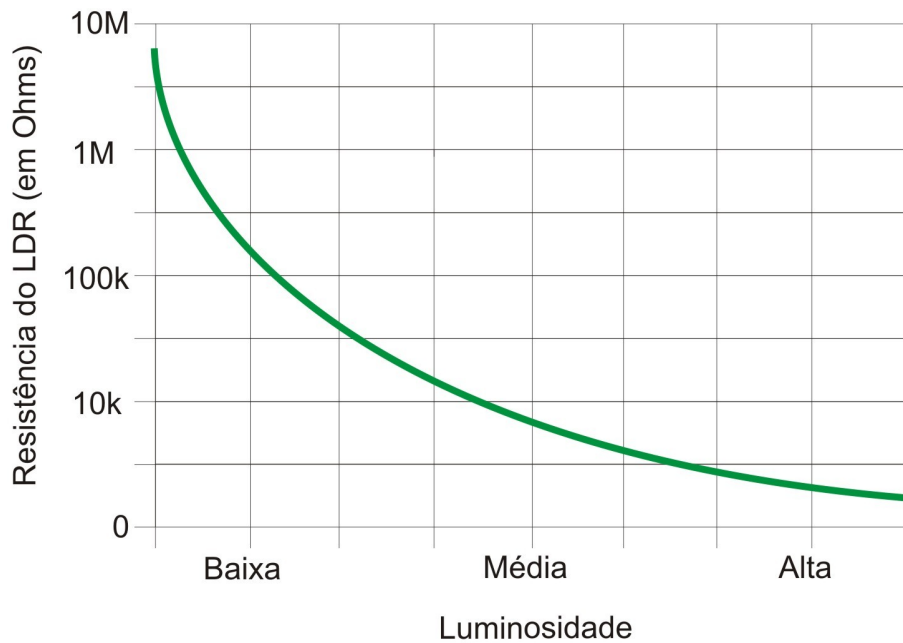


Figura 7: Gráfico da resposta do LDR.

Para fazer a medida da luminosidade do ambiente através do LDR, precisamos fazer com que a variação da resistência do componente seja convertida numa variação de tensão. Essa tensão pode ser utilizada por um circuito externo ou ser monitorada através da entrada analógica do MEC1000 ou do KDR5000, por exemplo. O meio mais fácil de conectá-lo é através de um divisor de tensão.

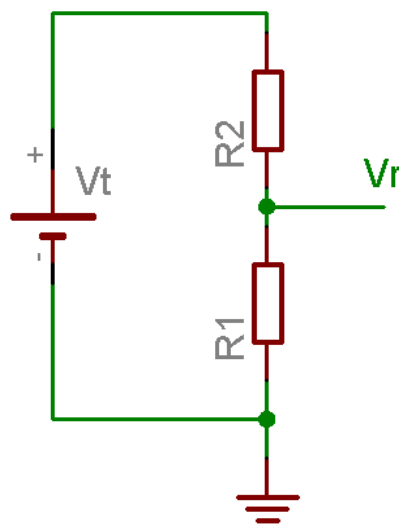


Figura 8: Divisor de tensão.

Um divisor de tensão é composto por dois resistores ligados em série. A tensão no ponto entre esses dois resistores depende das suas resistências e da tensão de alimentação e pode ser calculada através de uma fórmula simples.

$$V_r = \frac{V_t \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

Como o LDR é um sensor resistivo, podemos substituir um dos resistores do divisor de tensão por este componente. No esquema acima, substituindo R2 por um LDR, temos um circuito cuja tensão aumenta de acordo com a luminosidade do ambiente. Podemos verificar isso na fórmula acima. Quando a quantidade de luz que incide sobre o LDR cresce, sua resistência cai, fazendo com que o valor de Vr aumente.

No lugar de R1, recomendamos colocar um resistor cujo valor fique entre os valores máximo e mínimo do LDR. Podemos também trocá-lo por outros valores, observando sua influência no valor de saída do divisor de tensão.

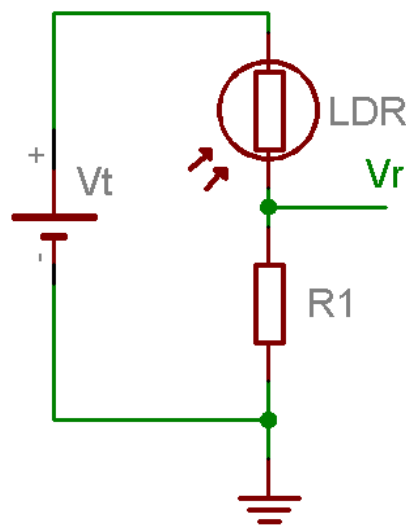


Figura 9: Divisor de tensão com o LDR.

É possível também trocar a posição do LDR, colocando-o no lugar do R1. Nesse caso, teremos um circuito cujo funcionamento é contrário ao mostrado acima. O valor da tensão Vr aumentará quando a luminosidade do ambiente diminuir. Na fórmula do divisor de tensão, podemos notar que, quanto menor o valor de R1, menor será o valor de Vr.

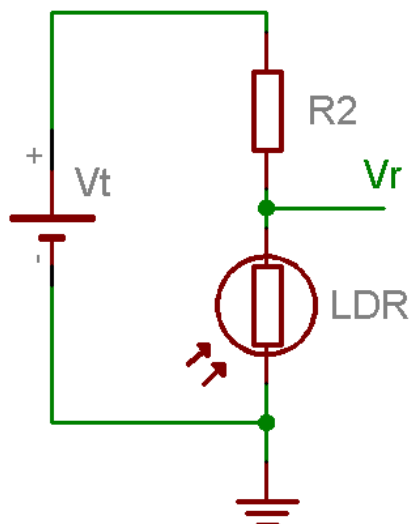
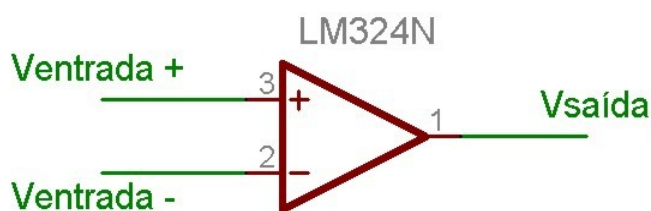


Figura 10: Divisor de tensão com o LDR.

A tensão presente no ponto entre o LDR e o resistor pode servir de referência para um outro circuito, como um Amplificador Operacional montado na configuração de comparador ou um oscilador 555. Também podemos monitorá-la através do MEC1000 ou do KDR5000, ao conectá-la a uma entrada analógica.

Podemos criar um circuito de iluminação automática, utilizando um LDR e um Amplificador Operacional comparador. Um AmpOp ligado dessa forma compara a tensão das duas entradas, positiva e negativa. Quando a tensão da entrada positiva for superior à da entrada negativa, encontraremos na saída do AmpOp a tensão de alimentação do circuito. Se a tensão da entrada negativa for superior à da entrada positiva, acontecerá o contrário, ou seja, na saída do AmpOp encontraremos uma tensão de 0 V. É interessante notar que qualquer AmpOp pode ser utilizado com essa finalidade.



Quando Ventrada + é maior que Ventrada -
 $V_{saída} = \text{tensão de alimentação}$

Quando Ventrada + é menor que Ventrada -
 $V_{saída} = 0 \text{ V}$

Figura 11: Utilização de um AmpOp comparador.

Através de um divisor de tensão, ligaremos o LDR à entrada negativa do AmpOp enquanto que a entrada positiva será ligada a um potenciômetro (ou trimpot), através do qual podemos

determinar a sensibilidade do circuito. Na saída do AmpOp, colocamos um LED, porém, é possível acionar um relé, ou até mesmo ligá-lo a um circuito digital, desde que as tensões sejam compatíveis.

Quando a luminosidade sobre o LDR diminuir, sua resistência aumenta e, deste modo, a tensão na entrada negativa do AmpOp também aumenta. Caso essa tensão seja maior do que a presente na entrada positiva, que é definida através do potenciômetro, a saída do AmpOp será igual a tensão negativa da alimentação, que no circuito abaixo é 0 V, o que acenderá o LED.

O resistor a ser colocado em série com o LED deve ser compatível com a tensão de alimentação do circuito, pois devemos nos lembrar que o LED não suporta correntes muito altas. Utilize um resistor de valor que a corrente que passe por ele seja de apenas alguns miliampères.

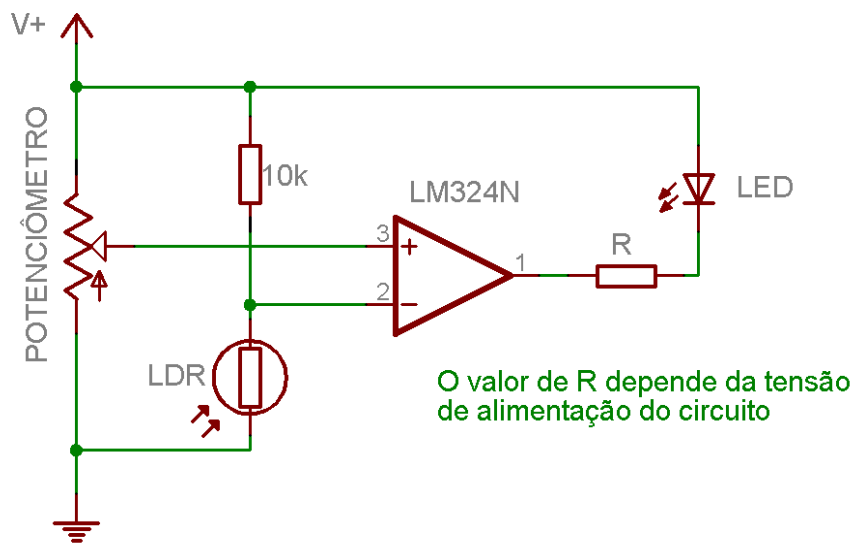


Figura 12: LDR montado com um comparador. A sensibilidade do circuito é definida pelo potenciômetro.

Uma sugestão de montagem muito interessante utilizando LDRs é de um robô que siga ou se afaste da luz. Montando três LDRs no robô, sendo um na direção frontal e dois nas laterais, e exercitando um pouco os conhecimentos de eletrônica e programação, podemos fazer com que o robô verifique os níveis de luminosidade no ambiente e movimente-se de modo que o LDR central seja mais iluminado (no caso de um robô que siga a luz) ou menos iluminado (num robô que fuja da luz) do que os outros montados nas laterais.

Termistor



Figura 13: Termistores diversos.

Outro modelo de sensor resistivo muito comum é o termistor, um componente destinado a medir variações de temperatura. Devido a importância que esse fator exerce em inúmeros processos, seja o funcionamento de máquinas, a realização de experimentos ou a fabricação de diversos tipos de produtos, o seu monitoramento é algo essencial. O uso de termistores também é essencial em sistemas de ar condicionado. Modelos de alta qualidade são empregados em setores diversos como medicina (durante a realização de diagnósticos e tratamentos), automotivo (para monitorar a temperatura do motor e dos sistemas de lubrificação) e até aeroespacial. Mas, antes de utilizá-lo, é importante compreender alguns conceitos básicos sobre o componente.

Assim como o LDR, o termistor não possui uma pinagem específica. O termistor, de acordo com a simbologia europeia, é representado da seguinte forma.



Figura 14: Símbolo do termistor utilizado em esquemas eletrônicos.

Existem dois tipos de termistores, NTC e PTC, assim classificados de acordo com sua resposta em função da temperatura. Os termistores NTC (*Negative Temperature Coefficient* – Coeficiente de Temperatura Negativo) são os modelos mais comuns e são feitos de materiais semicondutores simples. Eles são assim denominados pois a resistência desses componentes

diminui quando a temperatura aumenta, ou seja, eles possuem um coeficiente de temperatura negativo.

Os termistores PTC (*Positive Temperature Coefficient* – Coeficiente de Temperatura Positivo) são mais difíceis de serem encontrados, pois são constituídos de elementos mais complexos e, portanto, mais caros. Seu comportamento é contrário aos NTC, pois o aumento da temperatura faz com que sua resistência também aumente. Os termistores PTC são mais comumente aplicados para proteger circuitos eletrônicos de excessos de correntes, substituindo os fusíveis tradicionais.

Numa situação normal, sua resistência à passagem da corrente elétrica é pequena, e apenas uma pequena quantidade da energia elétrica é transformada em calor. Porém, se a corrente subir muito, a quantidade de energia dissipada em forma de calor será maior. Desse modo, a temperatura do componente aumenta e então temos que sua resistência à passagem da corrente também aumenta. Esse efeito é importante para evitar surtos de corrente, que geralmente ocorrem com motores elétricos. Ao ligar um motor, inicialmente ele consome uma corrente muito grande, para só depois se estabilizar.

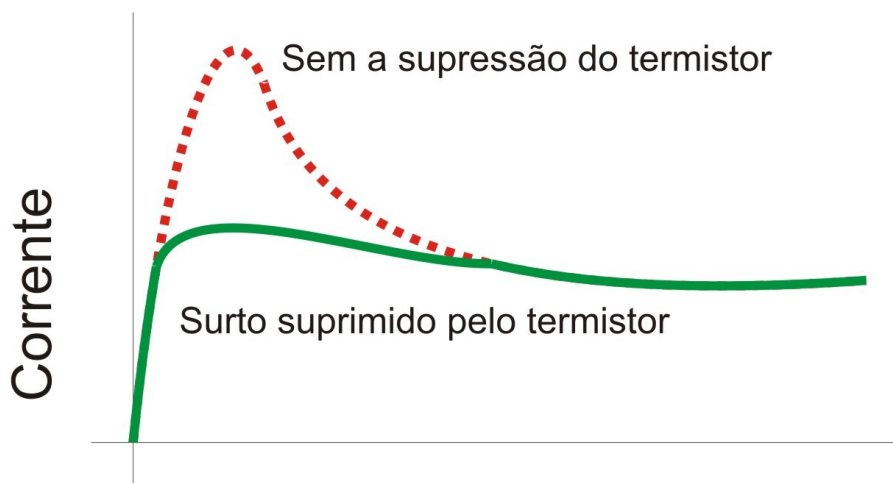


Figura 15: Supressão de surtos com um termistor PTC.

Os gráficos abaixo mostram como a resistência dos termistores NTC e PTC varia de acordo com a temperatura. Os fabricantes disponibilizam vários tipos de termistores, com diferentes curvas de resposta, temperaturas máximas e mínimas de operação e outras características, de modo que seu funcionamento seja adequado a determinadas aplicações.

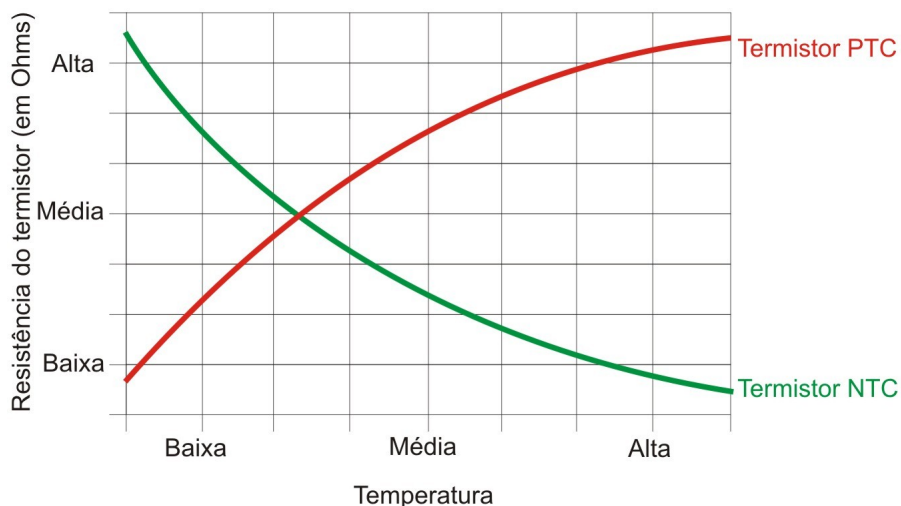


Figura 16: Gráfico de resposta dos termistores NTC e PTC.

Durante a utilização do termistor, é importante levar em consideração que ele apresenta uma faixa limite de operação. A temperatura adequada para a sua utilização varia de acordo com o fabricante e, caso não seja possível obter essa informação, é recomendado não expor o componente a temperaturas acima de 100°C , que é o limite de alguns componentes disponíveis no mercado.

Para fazer a medição da temperatura através do termistor, podemos ligá-lo na forma de um divisor de tensão, pois ele é um sensor resistivo. Desse modo, a tensão resultante nesse circuito será correspondente à temperatura do ambiente. Isso porque, como vimos acima, a resistência do termistor está relacionada como a temperatura do ambiente ao seu redor.

Substituindo R2 por um termistor NTC, que é o modelo mais comum, verificamos que, com o aumento da temperatura, haverá um aumento da tensão no ponto entre R1 e R2. Podemos comprovar na fórmula do divisor de tensão que isso ocorre pois, quanto menor for o valor de R2, maior será a tensão de saída.

No lugar de R1, pode ser colocado um resistor de um valor qualquer, desde que não seja muito baixo, para que a corrente elétrica no divisor de tensão não seja alta. É interessante colocarmos um resistor cujo valor é o mesmo da resistência do termistor medido a temperatura ambiente. Desse modo, nessa condição, a saída do divisor de tensão seja aproximadamente a metade da tensão de alimentação.

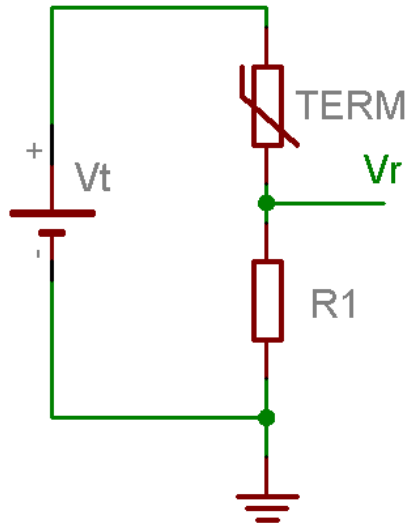


Figura 17: Divisor de tensão com termistor.

Se o termistor for colocado no lugar de R1, o divisor de tensão se comportará de forma contrária. A tensão de saída será aumentar quando a temperatura diminuir.

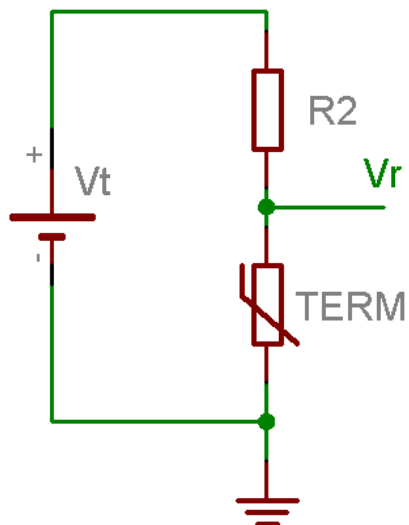


Figura 18: Divisor de tensão com termistor.

Esse é o método mais simples e eficaz de possibilitar a verificação da temperatura ambiente através de um termistor. A tensão presente no ponto entre o termistor e o resistor pode ser utilizada como referência para um circuito externo ou monitorada por um MEC1000 ou KDR5000 através de uma entrada analógica. Aplicando seus conhecimentos em programação e eletrônica, é possível monitorar a temperatura do ambiente ou de uma determinada peça ou processo e realizar certas

ações como exibi-la através de um display de 7 segmentos ou de cristal líquido, emitir um sinal de alerta ou até mesmo realizar as ações necessárias para controlá-la.

Sensor de Peso

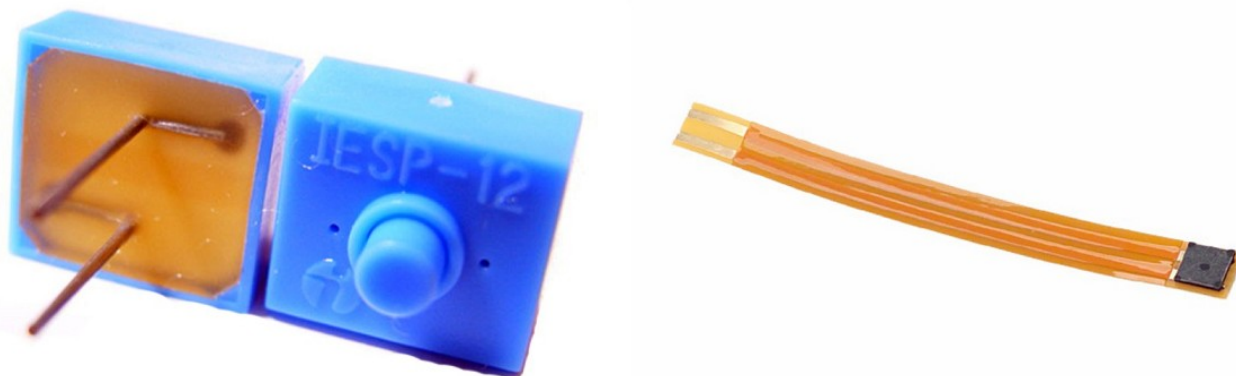


Figura 19: Sensores de peso IESP-12 e SF4.

O sensor de peso é outro sensor resistivo de fácil aplicação. Através desse componente, podemos medir o peso de algum objeto ou uma força aplicada sobre ele. O monitoramento desses fatores é extremamente importante em ambientes industriais, como em indústrias alimentícias, por exemplo. Monitorando a entrada de matéria-prima e a saída do produto acabado, é possível evitar desperdícios e realizar certos processos de forma mais eficiente. Porém, podemos encontrar esses sensores sendo aplicados com outras finalidades. Modelos mais avançados desses sensores são destinados a criar sistemas de “tato artificial” para robôs, possibilitando que eles tenham percepção de toque de superfícies e texturas.

Os sensores de peso (que também são conhecidos como sensores de pressão ou de força) podem ser construídos de diversas formas, mas os modelos mais comuns e cuja utilização é mais simples são os resistivos. O princípio de seu funcionamento é bem simples: quanto maior a força exercida sobre ele, menor será a resistência entre seus terminais.

Dentre os sensores de peso disponíveis no mercado, utilizaremos como referência para esse tutorial o IESP-12 e o SF-4, ambos produzidos pela CUI Inc. Apesar de serem fisicamente muito diferentes, eles possuem muitas características semelhantes, como tensão de alimentação, limites de operação e resposta em função do peso, que podemos observar no gráfico abaixo.

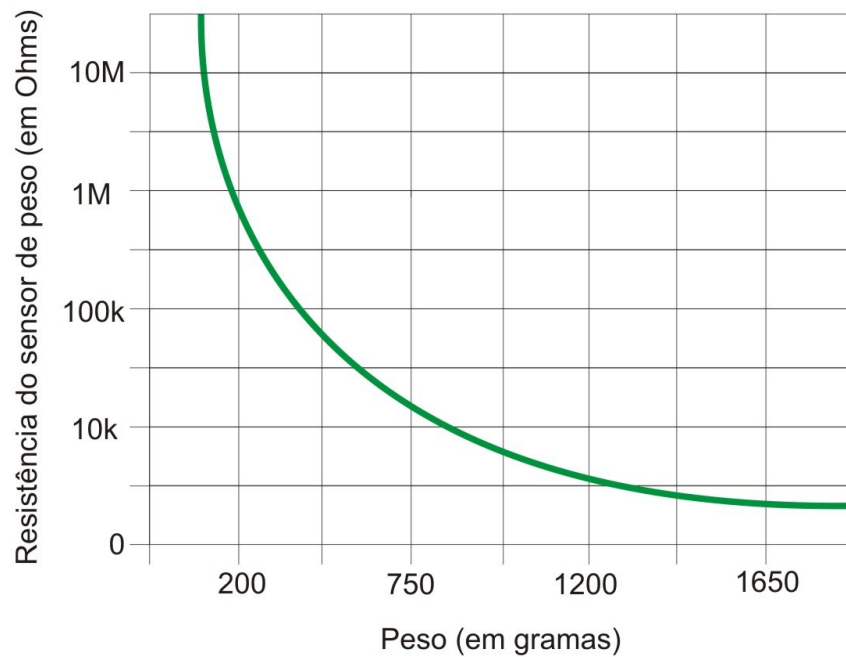


Figura 20: Gráfico de resposta dos sensores de peso IESP-12 e SF-4.

Como podemos observar, a resposta destes sensores não é linear, ou seja, não é proporcional à força que é exercida sobre eles. A faixa de maior sensibilidade de ambos encontra-se entre 200g e 1000g e, acima deste peso, torna-se cada vez mais difícil obter um valor preciso, o que pode ser observado no gráfico. Isso ocorre porque esses sensores são destinados apenas ao uso genérico. Para aplicações que exigem mais precisão, devem ser utilizados sensores dedicados.

Antes de utilizar esses sensores, devemos levar em conta que eles apresentam limites de operação. É preciso tomar cuidado com a voltagem e a corrente conduzida. A alimentação pode ser feita com uma tensão entre 3 e 6V e a corrente não deve ser superior a 20mA.

Também deve-se tomar cuidado com a força exercida sobre eles. O peso máximo que o IESP-12 suporta é de 4 Kg enquanto que o SF-4 suporta até 3 Kg. Mas é recomendado que o peso não seja superior a 1,5 Kg, para que sua vida útil seja maior. Além disso, os sensores perdem muito de sua sensibilidade em valores altos, como já foi mencionado.

Caso seja utilizado um sensor diferente, basta procurar suas especificações, disponibilizadas no site do fabricante, para que se possa saber quais são seus limites de operação e a alimentação adequada.

Outro cuidado muito importante que é necessário com esse tipo de sensor é que não se deve manter um peso apoiado sobre eles durante um tempo muito longo, o que pode danificá-los. Esses sensores geralmente são destinados ao uso intermitente, e uma força exercida por um período muito longo pode causar imprecisão nas leituras ou estragá-los permanentemente. Por isso, após utilizá-lo, guarde-o de modo que não haja nenhum peso forçando-o.

Assim como qualquer sensor resistivo, podemos monitorar a resposta do sensor de peso através de um divisor de tensão. A utilização do sensor de peso deverá ser feita com mais cuidado, pois a corrente que flui por ele não poderá ser maior que 20mA. Alimentando-o com uma tensão de 5V, vamos calcular o valor do resistor que será colocado em série com o sensor, de modo que a corrente máxima que passe pelo circuito (quando a resistência do sensor de peso for muito baixa) seja de 5mA.

$$V = R \cdot i$$

$$5 V = R \cdot 0,005 A$$

$$R = \frac{5 V}{0,005 A}$$

$$R = 1000 \Omega$$

É importante ter em mente que esse valor não é obrigatório. Caso não esteja disponível, pode-se utilizar outro resistor, embora seja recomendado utilizar valores maiores, de modo que a corrente não danifique o componente. Tomando essas precauções quanto à alimentação e à utilização do divisor de tensão, garantiremos que o sensor funcionará perfeitamente por um longo tempo.

Como o sensor será ligado na forma de um divisor de tensão, temos duas maneiras possíveis para conectá-lo. Se ele for colocado na posição de R2, verificaremos que, quanto maior o peso sobre o sensor, menor será sua resistência e, conseqüentemente, maior será a tensão entre os dois componentes.

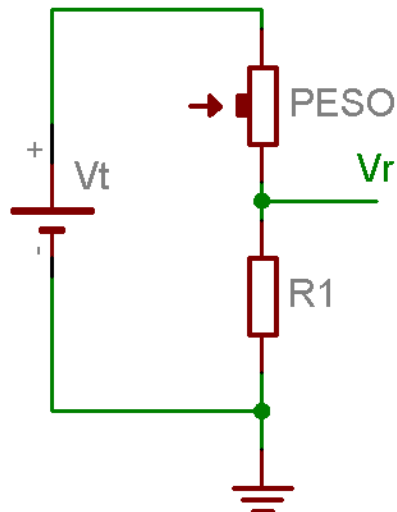


Figura 21: Divisor de tensão com sensor de peso.

Se o sensor de peso for colocado na posição de R1, acontecerá o inverso, ou seja, quanto maior for o peso sobre o sensor, menor será a tensão entre os dois componentes.

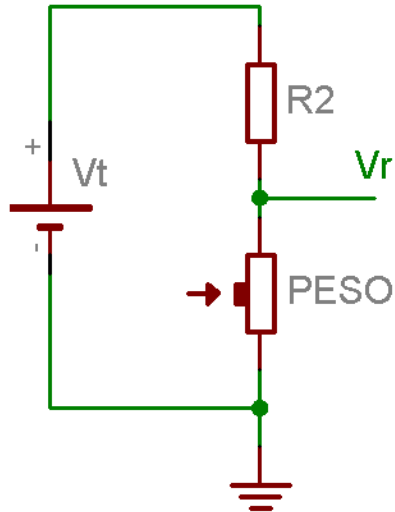


Figura 22: Divisor de tensão com sensor de peso.

Tal como os outros modelos de sensores resistivos, o sensor de peso pode ser utilizado muito facilmente, seja em circuitos analógicos ou através do KDR5000 ou MEC1000. Esse sensor pode ser utilizado de modo a construir uma balança, lembrando-se de respeitar seus limites quanto à capacidade máxima e de não mantê-lo durante muito tempo embaixo de algum peso.

Uma função muito interessante para esse componente é a de sensor de toque, que pode ser colocado num robô ou em algum sistema eletrônico. Para essa utilização, devemos fazer com que haja uma sensibilidade muito grande à variação do sinal do divisor de tensão, de modo que o sistema responda a uma pequena força exercida sobre o sensor. Também pode ser utilizado para criar um botão que responda de diferentes modos à força exercida sobre ele, bastando para isso que hajam diferentes instruções de acordo com a resposta do sensor.

Potenciômetro

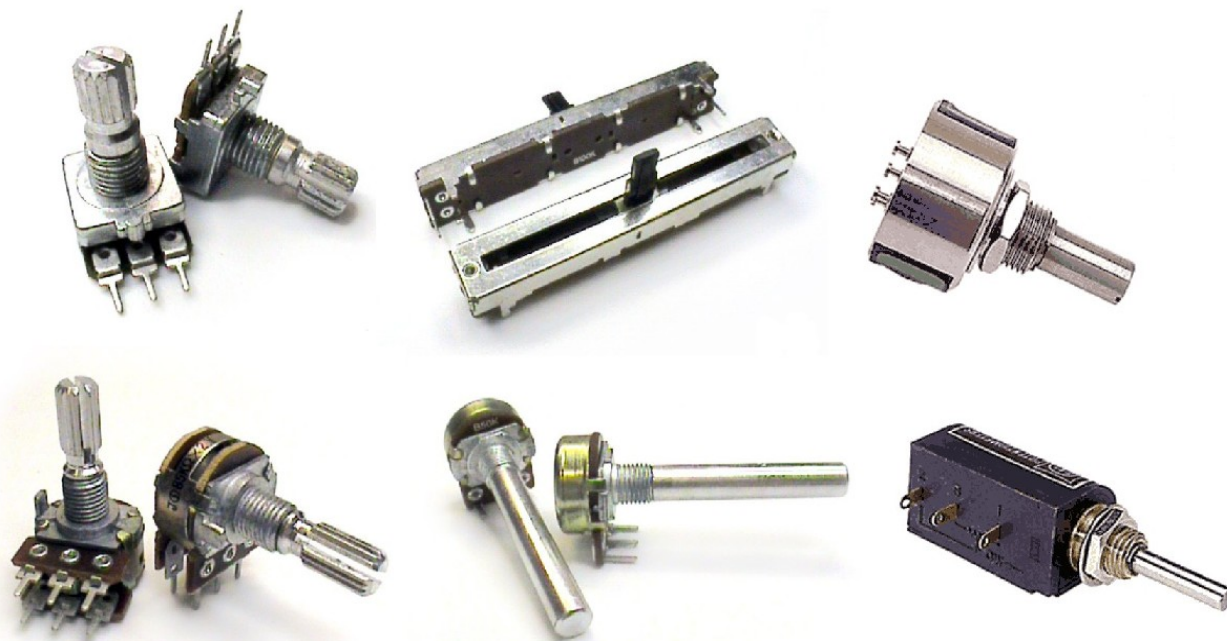


Figura 23: Potenciômetros diversos.

Embora a finalidade principal do potenciômetro seja de ajustar algum parâmetro (o volume do aparelho de som, por exemplo), podemos facilmente utilizá-lo como um sensor de posição. Potenciômetros com essa finalidade podem ser encontrados em robôs e equipamentos industriais, onde são destinados a informar a angulação exata de um braço mecânico. Outra aplicação a que eles podem ser destinados é a monitorar o funcionamento da suspensão de um carro de corrida onde, de acordo com as informações recebidas de um potenciômetro que acompanha o movimento dos amortecedores, um sistema de controle regula a dureza da suspensão de acordo com as condições da pista.

Seu símbolo, de acordo com os padrões americanos e europeus, é o seguinte:



Figura 24: Símbolos do potenciômetro utilizados em esquemas eletrônicos. À esquerda a simbologia americana e à direita a européia.

O potenciômetro pode ser utilizado em aplicações que envolvam deslocamentos, movimentos e outros fenômenos puramente mecânicos. Ou seja, através desse componente é possível que a mudança de uma variável mecânica, como um ângulo ou uma altura, seja transformada numa mudança de uma característica elétrica.

O potenciômetro pode ser mais claramente definido como sendo um divisor de tensão variável. Ele é composto por uma faixa de material resistivo (geralmente grafite) ligada entre seus dois terminais externos. Nesse material, desliza um cursor, ligado diretamente ao terminal central do potenciômetro. Esse cursor pode ser movimentado através de um eixo rotativo ou um pino de plástico ou metal. Quando alteramos a posição do cursor, alteramos a resistência entre o terminal central e os dois terminais externos do potenciômetro.

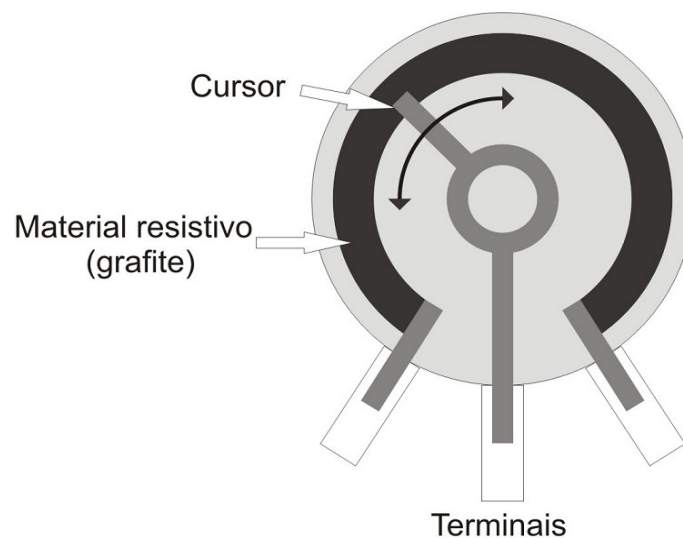


Figura 25: Interior do potenciômetro, detalhando suas partes principais.

O valor da resistência total do potenciômetro (medida entre seus terminais externos) será sempre constante. Ou seja, o potenciômetro funciona como dois resistores em série, onde podemos alterar simultaneamente os seus valores, desde que a soma das resistências seja constante.

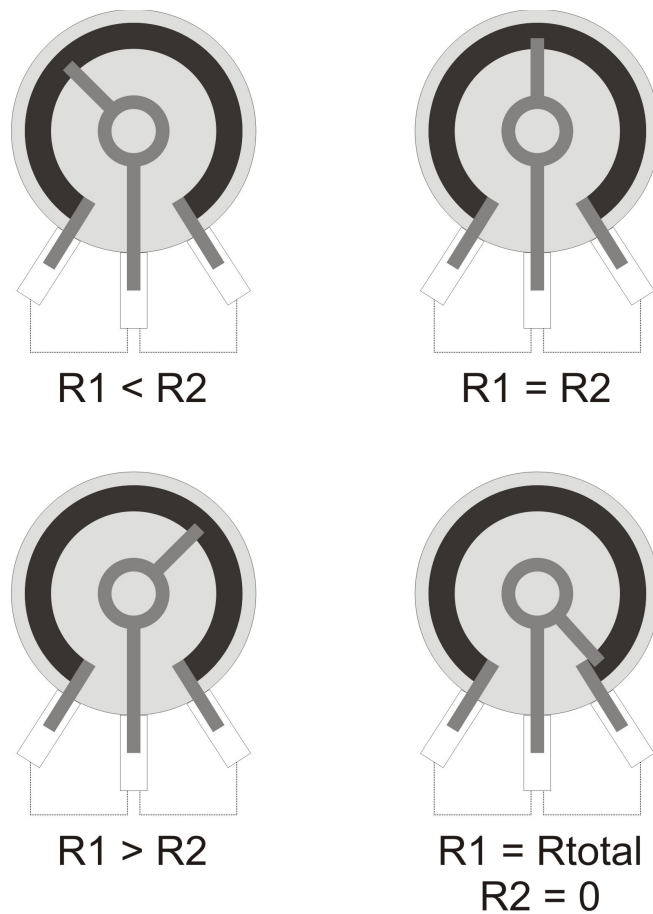


Figura 26: Resistência medida entre os terminais do potenciômetro em diferentes posições do cursor.

O valor da resistência total geralmente é mostrada no próprio corpo do potenciômetro. Caso ele não esteja presente, podemos verificá-la com um multímetro, medindo a resistência entre os dois terminais externos.

Além da resistência total, podemos classificar os potenciômetros de acordo com outros fatores. O principal é o modo como podemos alterar a posição do cursor, ou seja, como podemos variar a resistência entre o terminal central e os terminais externos. Podemos classificá-los em angulares, lineares ou multivolta.

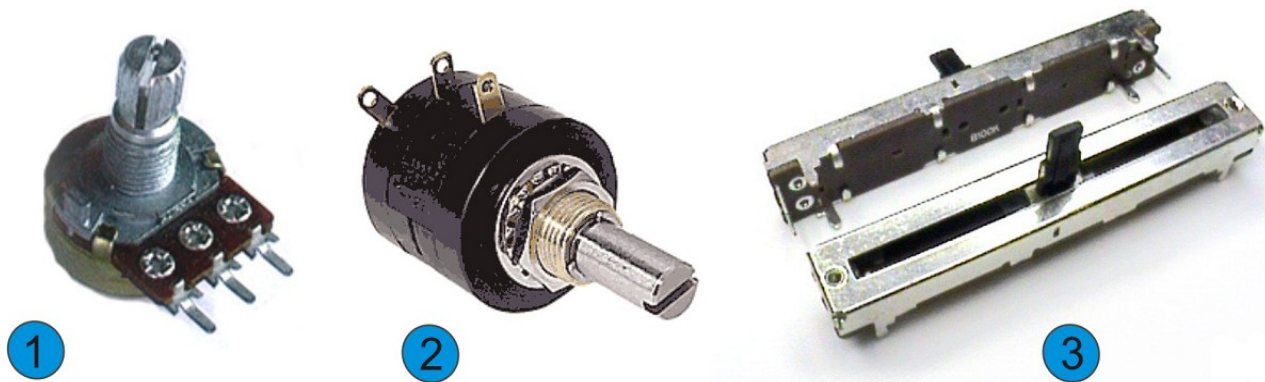


Figura 27: Modelos de potenciômetros. 1-Potenciômetro angular. 2-Potenciômetro multivolta. 3-Potenciômetro linear.

Dentre todos, os potenciômetros angulares são os mais comuns, e podemos encontrá-los facilmente no nosso cotidiano, especialmente em aparelhos de som. Nesses potenciômetros, o cursor está ligado a um eixo, de modo que ele acompanha o seu movimento. Podemos utilizar esses potenciômetros como sensores de posição angular, indicando o deslocamento de uma engrenagem ou a inclinação de uma rampa, por exemplo. O seu giro (mais especificamente chamado de curso) é restrito em 270° .

Os modelos multivolta são uma variação dos angulares, que possibilitam várias voltas do início ao fim do curso. Isso os torna muito práticos para aplicações em robôs e outros sistemas mecânicos, onde seja necessário monitorar a movimentação de alguma estrutura. A desvantagem está na dificuldade de encontrá-los no mercado.

Os potenciômetros lineares são comuns em aparelhos de mixagem e equalizadores de áudio, pois proporcionam uma leitura mais fácil pelo operador. O cursor está ligado a um pequeno pino de plástico ou de metal e é movimentado junto com ele. Uma aplicação dele é como sensor de movimento linear, onde podemos verificar a compressão de uma mola.

A classificação dos potenciômetros também pode ser feita em relação a sua configuração interna. Os mais comuns são os potenciômetros simples, que apresentam apenas uma faixa de material resistivo e um cursor e possuem 3 terminais. Para aplicações onde é necessário controlar dois divisores de tensão simultaneamente, utiliza-se o potenciômetro duplo (*dual-gang* em inglês). Ele apresenta duas faixas de material resistivo e dois cursores, além de possuir 6 terminais. Ao mover o eixo ou pino do potenciômetro, os dois cursores são deslocados simultaneamente. Ou seja, é como se tivéssemos dois potenciômetros distintos, mas compartilhando o mesmo controle de posição do cursor.

Os potenciômetros duplos angulares possuem seus terminais divididos em dois grupos de três, tornando-se fácil identificar cada um. Os três terminais dianteiros correspondem a um potenciômetro enquanto que os três terminais traseiros são destinados ao outro. Nos modelos lineares a identificação também é fácil. Nos dois lados do corpo do potenciômetro há 3 terminais, sendo que o cada lado possui um potenciômetro distinto.

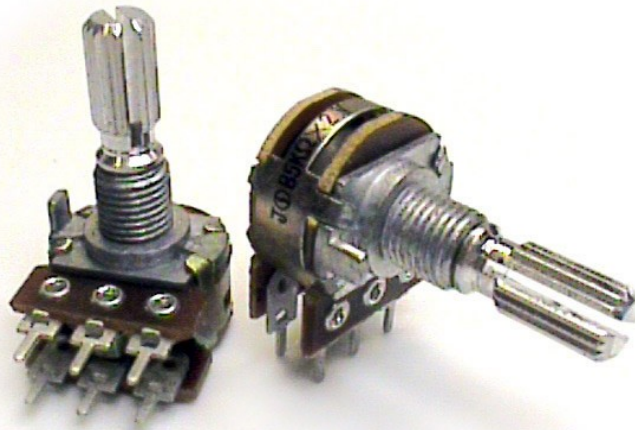


Figura 28: Potenciómetros angulares duplos.

Para utilizar um potenciômetro como um sensor de posição, é necessário ligar um dos terminais da extremidade com uma tensão positiva e o outro com uma tensão negativa. A tensão do terminal central variará entre esses dois valores de tensão.

A tensão máxima de alimentação do potenciômetro depende da potência que ele é capaz de dissipar (a energia perdida na forma de calor) e de sua resistência. Um potenciômetro comum é capaz de dissipar uma potência de 0,5W. Supondo que estamos utilizando um potenciômetro de 1 k Ω , vamos calcular a tensão máxima que podemos alimentá-lo. A relação entre potência, tensão e resistência é dada pela seguinte fórmula:

$$\begin{aligned}P &= V^2 / R \\V &= \sqrt{(P \cdot R)} \\V &= \sqrt{(0,5 \text{ W} \cdot 1000 \Omega)} \\V &= 22,4 \text{ V}\end{aligned}$$

Podemos alimentar esse potenciômetro com uma tensão contínua de, no máximo, 22,4 Volts. Além de estar atento à tensão, lembre-se de nunca ligar o terminal central do potenciômetro à alimentação, sob o risco de causar um curto-circuito na fonte de alimentação.

Além disso, recomendamos que o terminal central não seja ligado diretamente ao circuito eletrônico que fará a leitura da tensão. É importante que ele passe antes por um Amplificador Operacional montado na configuração de ganho unitário (também conhecida como seguidor de voltagem ou buffer). O potenciômetro é o componente onde esse procedimento é mais necessário. Isso porque, dependendo do circuito a ser conectado ao terminal central, podem ocorrer desequilíbrios no divisor de tensão formado pelo potenciômetro. Utilizando um buffer, o AmpOp pode fornecer uma corrente de até algumas dezenas de miliampères sem que o sinal de entrada seja afetado. A saída do AmpOp pode ser então ligada a um outro circuito eletrônico.

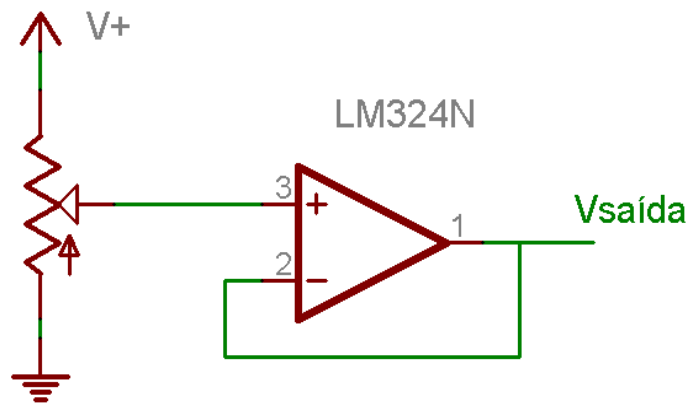


Figura 29: Potenciômetro com Amplificador Operacional montado na configuração de ganho unitário.

A leitura da posição do potenciômetro através da Entrada Analógica pode ser feita de forma muito simples. Não será utilizado nenhum componente extra, pois ele próprio já é um divisor de tensão e as entradas já são bufferizadas. Os terminais das extremidades deverão ser alimentados com 5V e 0V, disponíveis nos conectores de sensores, e o terminal central será ligado obrigatoriamente à Entrada Analógica.

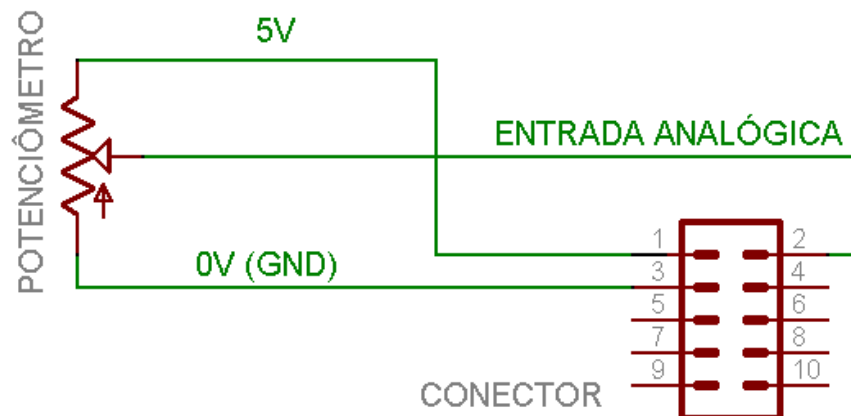


Figura 30: Potenciômetro ligado a uma Entrada Analógica do Kit.

Podemos utilizar potenciômetros nas mais variadas aplicações que envolvam deslocamento, seja ele linear ou angular. Através desse componente, é possível fazer o controle preciso da posição de um eixo ou um braço mecânico de um robô, colocando-o de modo que ele gire junto com a estrutura. A partir da tensão de saída do potenciômetro, é possível saber a angulação do conjunto e, se necessário, controlá-la.

Outra aplicação interessante é a medição do volume de um tanque. Para isso, utilizamos um potenciômetro angular com uma bóia presa ao seu eixo através de uma haste. Sendo assim, a resposta do potenciômetro varia em função da posição da bóia dentro do tanque. Podemos então, de acordo com o sinal do potenciômetro, mostrar através de uma barra de LEDs se este se encontra vazio ou cheio, ou até mesmo mostrar o volume em litros numa tela de cristal líquido.

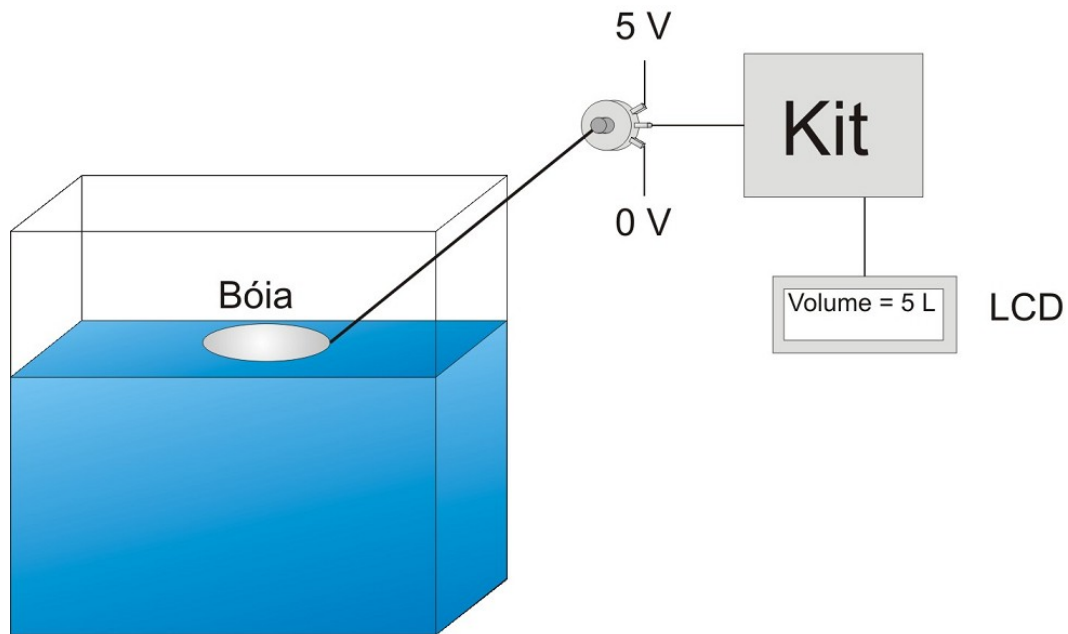


Figura 31: Utilizando um potenciômetro para monitorar o volume de um tanque.

Microfone



Figura 32: Microfones diversos.

O microfone é um componente captador de som, destinado a converter as vibrações sonoras em sinais elétricos. Eles são empregados em inúmeras aplicações, desde aparelhos telefônicos e equipamentos de gravação a sensores de distância baseados em ultra-som.

Existem diversos tipos de microfones disponíveis, cujo funcionamento baseia-se nos mais variados princípios. Os microfones dinâmicos são os mais simples de todos, apresentando um funcionamento semelhante ao dos alto-falantes (o som faz vibrar um diafragma que, por sua vez, induz uma corrente variável numa bobina eletromagnética, enquanto que nos alto-falantes acontece exatamente o oposto). Muito comuns também são os capacitivos, que baseiam-se nos capacitores variáveis. Dentre os microfones mais complexos, encontramos os parabólicos (destinados à espionagem) e até modelos baseados na refração de raios laser numa lâmina de vidro.

O microfone mais adequado às nossas aplicações, também estando presente no KDR5000, é o microfone de eletreto. Este é o modelo mais comum, podendo ser encontrado desde aparelhos telefônicos até em microfones destinados à gravações de alta qualidade. Dentre suas vantagens estão o preço acessível e, principalmente, a sua fácil utilização.



Figura 33: Microfones de eletreto.

Quase todos os microfones utilizam um diafragma, uma película fina e flexível, que vibra quando as ondas sonoras incidem sobre ela. O modo como essa vibração é convertida num sinal elétrico caracteriza o tipo de microfone.

Nos microfones capacitivos e nos de eletreto, além do diafragma, há uma pequena placa de metal. Juntas, essas duas peças compõem um capacitor. A vibração do diafragma faz com que a distância entre ele e a placa de metal varie e, conseqüentemente, a capacitância desse conjunto também varia. Como a carga armazenada pelo capacitor se mantém constante, temos que a voltagem entre o diafragma e a placa de metal também varia, de acordo com a fórmula, onde Q é a carga (em Coulombs), C é a capacitância (em Farad) e V é a tensão (em Volts):

$$Q = C \cdot V$$

O sinal elétrico resultante da variação dessa voltagem reproduz fielmente a vibração do diafragma, podendo ser então amplificado e reproduzido através de um alto-falante. A diferença do microfone de eletreto para o capacitivo é que o seu diafragma possui uma fina película de eletreto, um material que quando eletrizado, mantém sua carga permanentemente. Isso permite que esses microfones operem com tensões extremamente baixas, não sendo necessário alimentá-lo com algumas dezenas de Volts, como no caso dos capacitivos.

Além disso, esse microfone possui internamente um FET (*Field Effect Transistor* – Transistor de Efeito de Campo) cuja função é servir de buffer, eliminando problemas de impedância e capacitância que podem ocorrer durante a conexão deste componente com o destino final do sinal (que pode ser um amplificador, um gravador ou um microcontrolador). A fonte de tensão necessária para utilizar o microfone se destina a alimentar esse transistor.

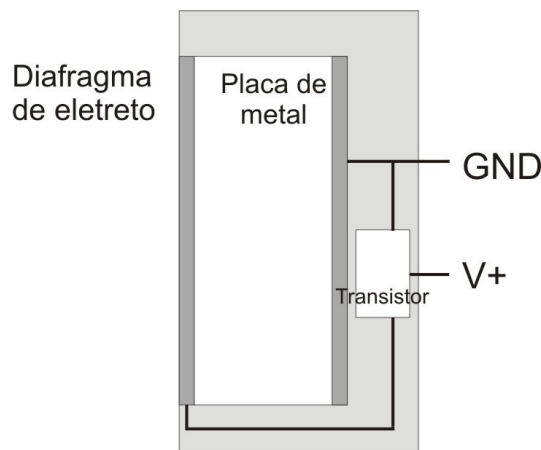


Figura 34: Interior do microfone de eletreto, detalhando suas partes principais.

Devido a sua construção, o microfone de eletreto possui uma pinagem específica. Não podemos ligar os seus terminais de qualquer modo, pois isso pode ocasionar em danos ao componente. É importante que eles sejam conectados da maneira correta. Olhando a parte inferior do microfone, onde estão os seus dois terminais, podemos notar que eles são ligeiramente diferentes. Enquanto que um deles está totalmente isolado, o outro possui “extensões” direcionadas à carcaça do microfone. Esse terminal que possui a “extensão” é o terminal negativo do componente, e o que está isolado é o terminal positivo.

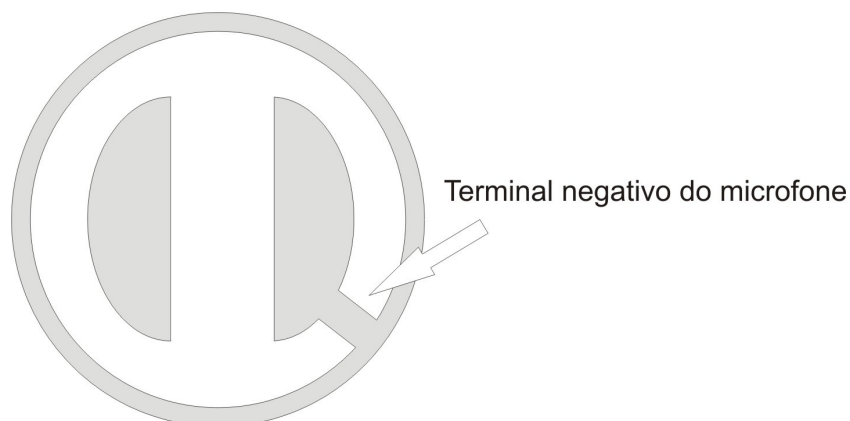


Figura 35: O terminal do microfone que possui extensões à sua carcaça é o terminal negativo.

Para a utilização de um microfone de eletreto, necessitamos de alguns componentes extras. Primeiro, devemos alimentá-lo, devido ao transistor interno, o que pode ser feito com os conectores disponíveis nas entradas de sensores. Entre o terminal positivo do microfone e a alimentação (que pode ser de 5V), devemos colocar um resistor, para limitar a corrente que alimentará o microfone.

O terminal positivo do microfone é o que será ligado ao receptor do sinal. Como esse terminal também estará ligado à alimentação, através do resistor, precisamos separar o sinal DC (que alimenta o circuito), do sinal AC (o sinal variável que será gerado pelo microfone). Para essa função, podemos utilizar um capacitor. O capacitor é um componente que bloqueia os sinais contínuos, mas deixa passar os sinais variáveis. Quando utilizado nessa função, ele é chamado de

capacitor de desacoplamento. Depois desse capacitor, temos então um sinal variável que reproduz fielmente as vibrações do diafragma causadas pelas ondas sonoras.

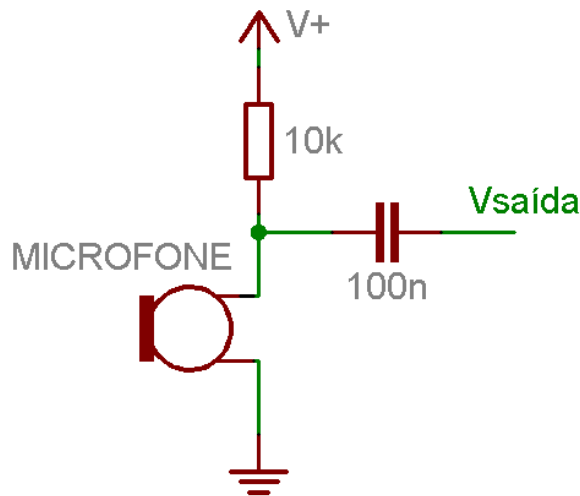


Figura 36: Esquema básico para a ligação de um microfone de eletreto.

O sinal resultante desse circuito poderá então ser destinado a um amplificador, um transmissor de radiofrequência ou qualquer outro circuito analógico. Mas para que seja monitorado por um outro circuito ou aplicado num conversor A/D, ele ainda não é ideal. O primeiro passo será adequar a tensão de repouso desse sinal. Depois, devemos amplificá-lo.

A tensão de repouso (V_{rep}), também chamada de nível DC ou Offset, é a tensão presente na saída do circuito quando o sensor estiver em repouso, ou seja, quando nenhum som é captado pelo microfone. No momento em que as ondas sonoras fazem vibrar o diafragma do microfone, é gerado então um sinal variável.

Como o sinal é alternado, a sua tensão varia acima e abaixo da tensão de repouso. No circuito acima, a tensão de repouso é de 0V. Ou seja, quando o microfone captar algum som, haverá um sinal analógico que varia até uma tensão de pico V , ou seja, de +V (valor máximo) a -V (valor mínimo).

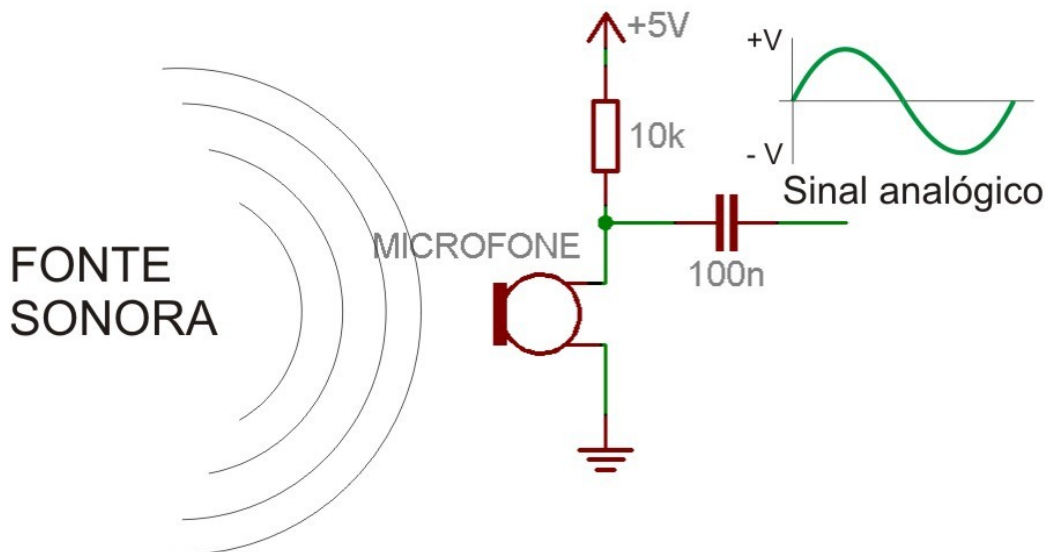


Figura 37: O sinal de saída do circuito corresponde ao som captado pelo microfone.

A maior parte dos conversores A/D não pode ler tensões negativas, como por exemplo, o conversor A/D presente no microcontrolador do KDR5000 e do MEC1000, que suporta tensões de 5 V a 0 V. Sendo assim, é necessário fazer com que a tensão de repouso seja maior, para que o valor mínimo do sinal analógico seja ligeiramente maior que 0 V. Desse modo, o sinal de saída do microfone estará enquadrado nos valores de leitura do conversor.

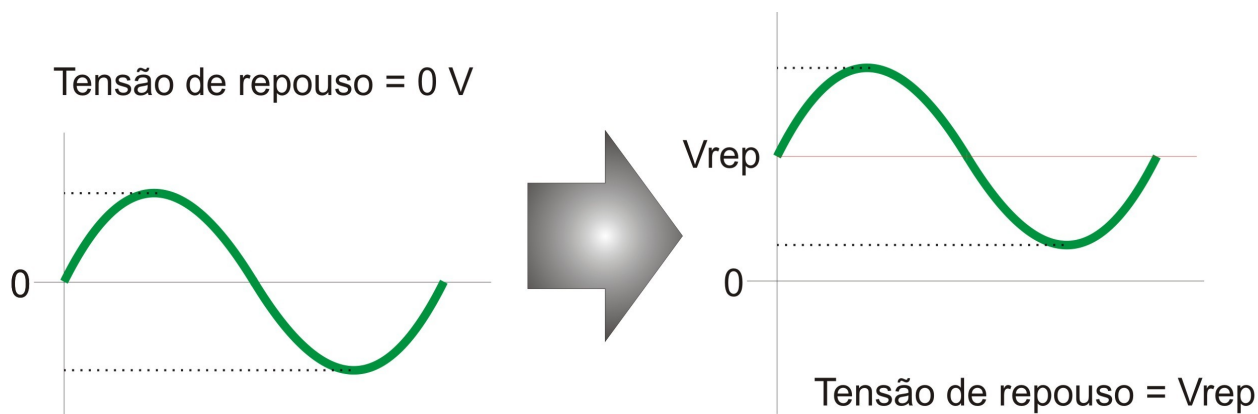


Figura 38: Devemos aumentar a tensão de repouso do circuito. Observe que o valor mínimo do sinal da direita é um pouco maior que 0 V.

Com essa função, podemos utilizar um divisor de tensão. Ao colocar um divisor de tensão na saída do circuito acima, quando o sensor estiver em repouso, a saída do circuito será a tensão presente no divisor de tensão. Quando o microfone passar a captar algum som, a tensão de saída variará acima e abaixo dessa tensão. Como o sinal de saída do microfone é baixo, com picos entre 10 e 20 mV, podemos ter um valor baixo como tensão de repouso. Vamos fazer com que a tensão de repouso seja de aproximadamente 40 mV (0,04 V).

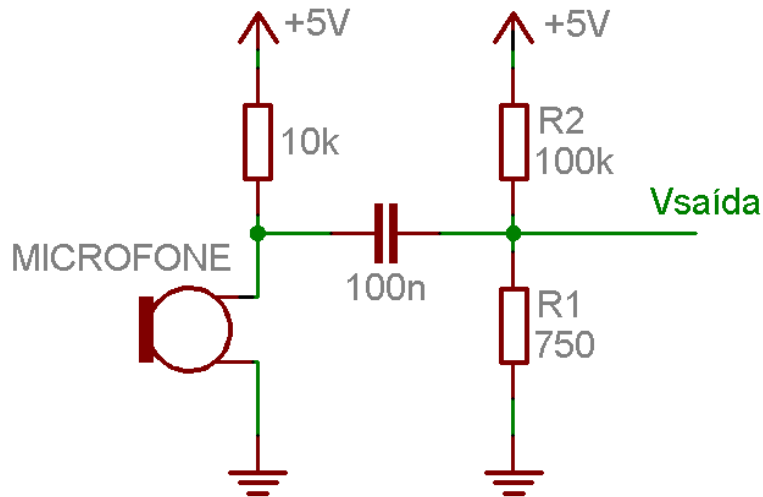


Figura 39: Utilizando um divisor de tensão para adequar a tensão de repouso.

O nível de tensão de repouso do circuito é dado pela mesma fórmula utilizada para os divisores de tensão. Ao utilizarmos um divisor de tensão com os valores de resistores mostrados acima, considerando que o circuito foi alimentado com uma tensão de 5 V, teremos uma tensão de repouso de 37 mV (0,037 V), como podemos comprovar pela fórmula abaixo.

$$V_r = \frac{V_t \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_{rep} = \frac{5 \text{ V} \cdot 750 \ \Omega}{100000 \ \Omega + 750 \ \Omega}$$

$$V_{rep} = \frac{3750}{100750}$$

$$V_{rep} = 0,037 \text{ V}$$

Temos então um sinal adequado à sua utilização em diversos circuitos. Quando o microfone estiver captando algum som, o sinal de saída variará entre, no máximo, 20 mV e 60 mV. Como esse sinal é fraco, ele pode então ser amplificado, se necessário.

A amplificação é interessante, pois a amplitude do sinal original é muito pequena, ou seja, a diferença entre os valores mínimo e máximo do sinal é muito baixa. Desse modo, a diferença entre os sinais de um som fraco e um forte, captados pelo microfone, é muito pequena. Amplificando o sinal, essa diferença ficará mais clara.

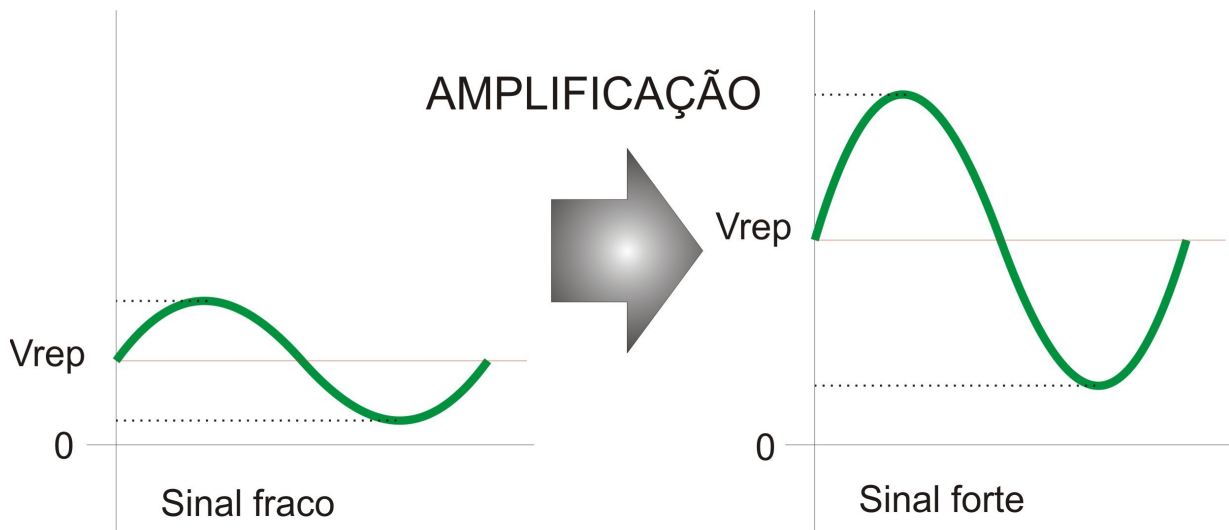


Figura 40: Amplificação de um sinal fraco.

Existem diversos métodos para realizar essa amplificação, mas o mais prático é através de um Amplificador Operacional (AmpOp). Nesse exemplo, utilizamos um circuito integrado LM324N, que é semelhante ao modelo utilizado na *Placa de Sensores* do KDR 5000, mas existem vários modelos disponíveis que atendem a essa necessidade.

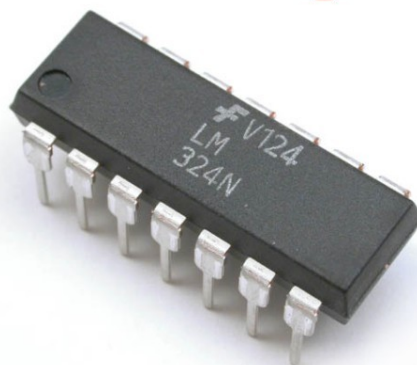
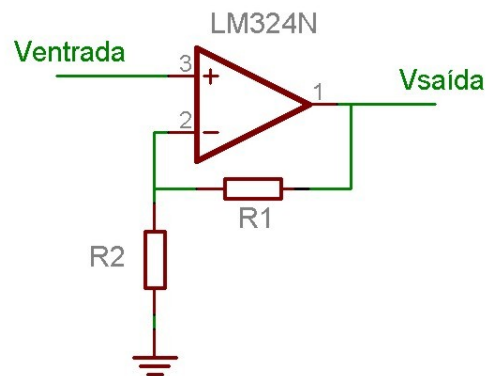
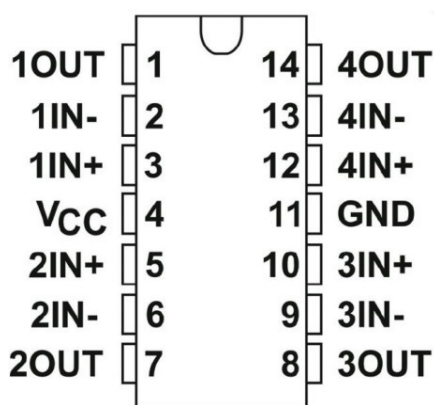


Figura 41: Circuito integrado LM324, sua pinagem e esquema da configuração de amplificador.

O sinal do microfone, depois de ser adequado através do divisor de tensão, será aplicado na entrada positiva do AmpOp. Um resistor (R1) será ligado entre a saída e a entrada negativa e outro resistor (R2), de valor menor, ligará a entrada negativa ao 0 V da alimentação. O ganho desse circuito será determinado por esses resistores, através da seguinte fórmula:

$$V_{saída} = V_{entrada} \cdot \left(1 + \frac{R1}{R2}\right)$$

O sinal proveniente do microfone tem um pico de tensão de aproximadamente 60 mV. Vamos amplificá-lo com um ganho de aproximadamente 25 vezes, de modo que teremos como resultado um sinal de até 1,5 V. Utilizamos no lugar de R1 um resistor de 18 kΩ e, no lugar de R2, um resistor de 750Ω, o que proporcionará o ganho necessário. Caso esses resistores não estejam disponíveis, pode-se utilizar outros. Se necessário, também é possível amplificar ainda mais o sinal.

Agora sim temos um sinal que pode ser perfeitamente analisado através do MEC1000 ou do KDR5000 ou de algum outro circuito externo. Como o sinal todo foi amplificado, podemos observar que a tensão de repouso agora também é mais alta, estando próxima de 1 V. Além disso, quando o nível sonoro for o máximo suportado pelo microfone, o sinal resultante variará entre um valor pouco acima de 0,5 V e um pouco abaixo de 1,5 V.

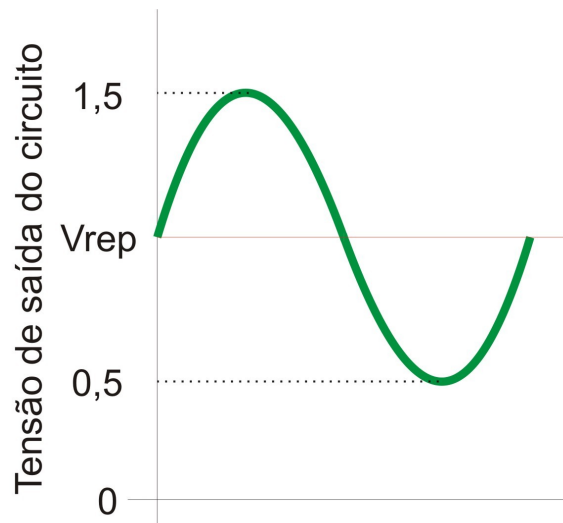


Figura 42: Sinal de saída do circuito utilizado com o microfone.

Finalizamos todos os procedimentos necessários para a adequação do sinal do microfone. O esquemático final do circuito necessário para a utilização do microfone é mostrado a seguir.

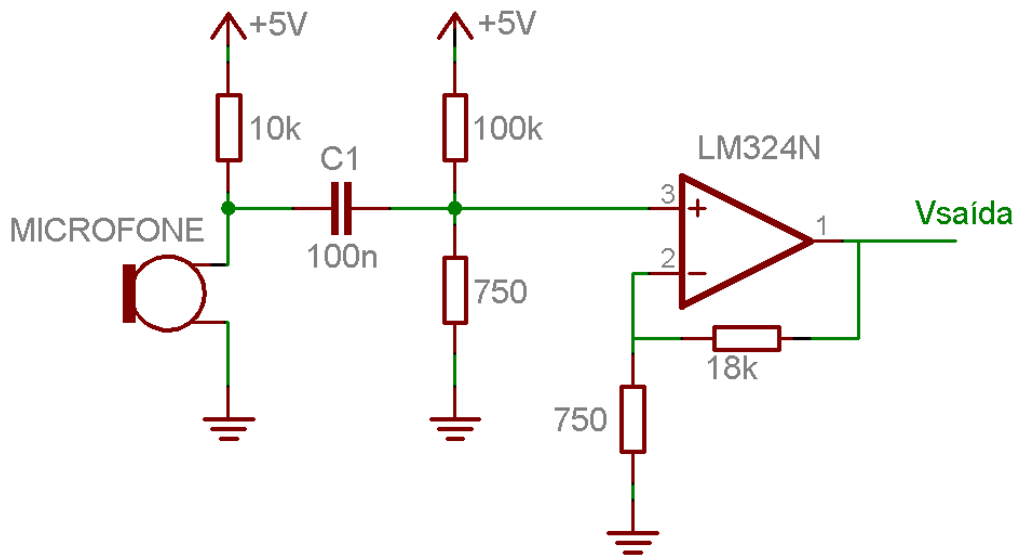


Figura 43: Circuito recomendado para a utilização do microfone.

Durante a soldagem do microfone, como já foi mencionado anteriormente, é necessário estar atento quanto a sua pinagem. Além disso, os terminais de alguns microfones de eletreto disponíveis no mercado são apenas pequenas áreas de metal, dificultando a soldagem do componente diretamente numa placa. Nesse caso, o microfone poderá ser soldado através de fios, ou até mesmo com pernas improvisadas. Como as pernas de resistores e capacitores novos são grandes, podemos cortá-las e soldá-las nos terminais do microfone.

Um exemplo de aplicação prática do microfone é num sistema de acionamento controlado por som. Podemos utilizar o microfone para monitorar o volume de som no ambiente e, quando houver um ruído (que pode ser uma palma ou uma fala mais alta) maior do que o definido como limite, algum circuito seja acionado. Podemos acionar várias coisas, como uma lâmpada (através de um relé), um alarme ou até mesmo um motor de um robô, por exemplo.

Sensor de vibração

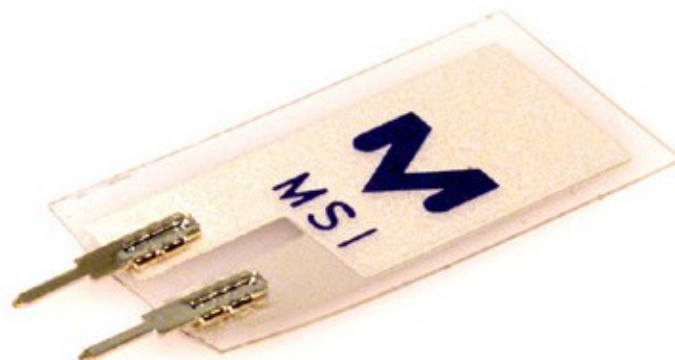
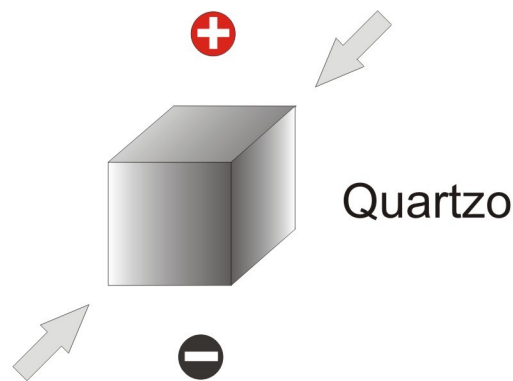


Figura 44: Sensor de vibração.

O sensor de vibração é um componente destinado a captar uma vibração e convertê-la num sinal elétrico. Seu funcionamento é muito semelhante ao de um microfone, mas enquanto que no microfone as vibrações são causadas por ondas sonoras, o sensor de vibração destina-se à vibração de estruturas.

A principal aplicação dos sensores de vibração é realizada em equipamentos industriais, verificando o funcionamento de motores, máquinas, centrífugas, ou seja, de qualquer equipamento que produza ou utilize algum tipo de movimento em seu funcionamento. O monitoramento do funcionamento de tais aparelhos através desses sensores permite identificar problemas e falhas antes que elas se tornem graves, possibilitando uma maior eficiência na linha de produção e evitando perdas financeiras expressivas.

Os sensores de vibração são geralmente construídos com materiais piezoelétricos. Esses materiais (cristais, como quartzo e fosfato de gálio) possuem a capacidade de gerar uma tensão, quando submetidos a um esforço mecânico. Isso ocorre porque, quando o cristal está em repouso, todas as cargas elétricas positivas e negativas estão simetricamente distribuídas, de modo que a carga total é neutra. Quando uma força é exercida sobre o cristal, essa simetria é desfeita e a distribuição irregular das cargas faz surgir uma tensão. Essa tensão gerada pode ser muito alta, atingindo valores de até alguns milhares de volts em casos extremos.



Quando um material piezoelétrico é submetido a um esforço mecânico ele gera uma tensão

Figura 45: Funcionamento do sensor de vibração.

Devido a essa capacidade de gerar uma tensão com a aplicação de um esforço mecânico, os materiais piezoelétricos podem ser utilizados em várias áreas. Além de serem ideais para a elaboração de sensores de vibração, podemos encontrá-los em microfones piezoelétricos, captadores para guitarras e violões, receptores de ultra-som e até isqueiros. A faísca utilizada para iniciar a queima do gás do isqueiro é produzida a partir da compressão de um cristal piezoelétrico.

O processo inverso também pode ser realizado, ou seja, uma compressão do tamanho do cristal quando uma tensão é aplicada nele. Esse princípio é utilizado na construção do buzzer, que converte um sinal elétrico num sinal sonoro.

Apesar de poderem gerar grandes tensões, esses materiais não são bons condutores de eletricidade. Por esse motivo, é aplicada uma camada metálica em cada extremidade do cristal, de modo que seja possível utilizá-lo adequadamente. A disposição desses elementos é mostrada no símbolo desse componente.



Figura 46: Símbolo do sensor de vibração.

Para verificar a vibração captada por esse sensor, necessitamos de alguns componentes extras. Alguns dos procedimentos realizados para a conexão do microfone também serão utilizados aqui, portanto, é recomendado que ele seja lido previamente para melhor entendimento de alguns conceitos utilizados.

Como o sensor de vibração utilizado é composto unicamente por um cristal piezoelétrico com dois eletrodos, sem nenhum componente eletrônico extra, não é necessário alimentá-lo. Um dos terminais do sensor deve ser aterrado, ligado ao negativo da alimentação. O outro terminal será a origem do sinal do sensor, que será monitorado por um circuito externo, depois de ser previamente adequado.

O primeiro passo será desacoplar o sensor de vibração, ou seja, isolá-lo de qualquer sinal DC que possa ser originado nas etapas posteriores. Isso pode ser feito utilizando um capacitor, colocado no terminal de saída do sinal do sensor. O valor do capacitor a ser utilizado não é crítico, sendo que nesse caso utilizamos um de 100nF.

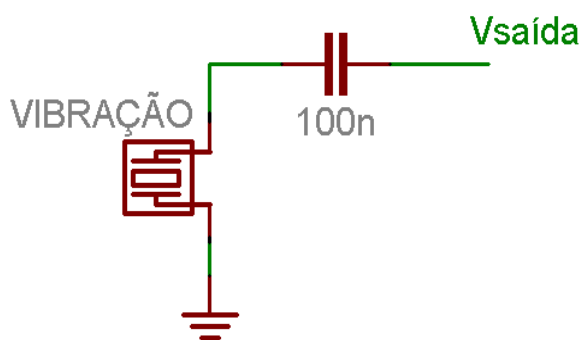


Figura 47: Esquema básico para a utilização do sensor de vibração.

Temos então depois do capacitor um sinal que corresponde à vibração captada pelo sensor. Porém, esse sinal não pode ser monitorado diretamente através de alguns circuitos, como as entradas analógicas do MEC1000 ou do KDR5000. Assim como foi feito com o microfone, devemos adequar a tensão de repouso (V_{rep}), de modo que o valor mínimo do sinal variável seja acima de 0V.

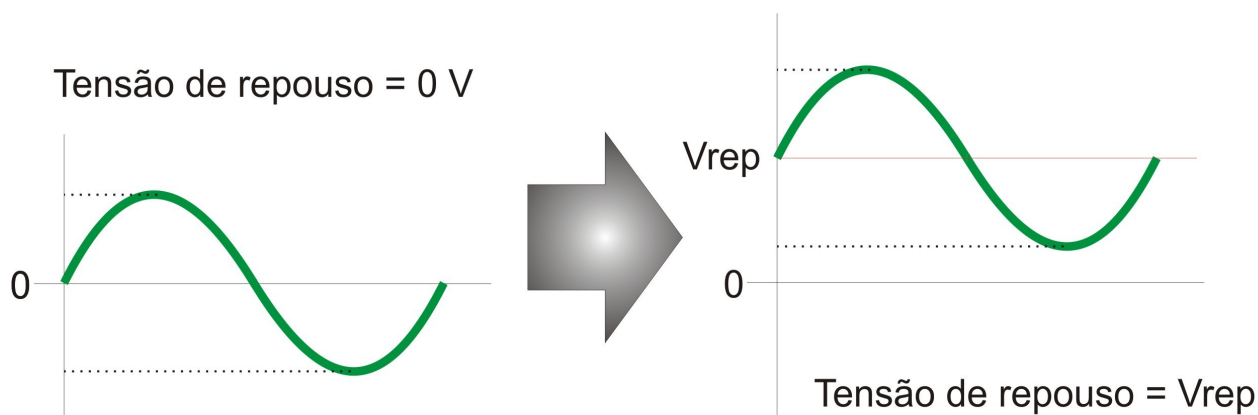


Figura 48: Devemos aumentar a tensão de repouso do circuito. Observe que o valor mínimo do sinal da direita é um pouco maior que 0 V.

Assim como foi feito com o microfone, será utilizado um divisor de tensão, só que no sensor de vibração ele será elaborado de modo que a tensão de repouso seja de 900 mV (0,9 V). Isso pode ser feito utilizando o circuito abaixo.

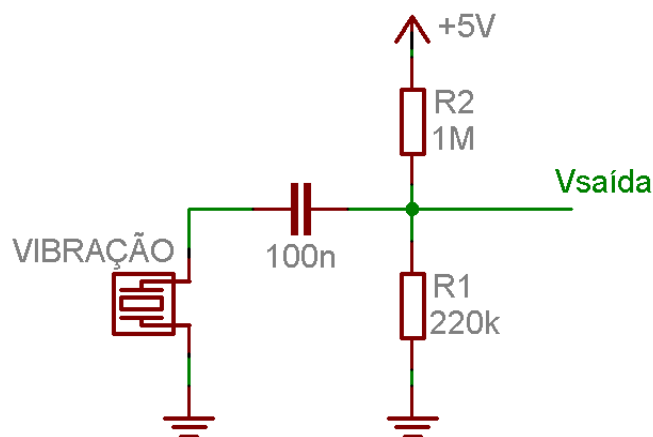


Figura 49: Circuito com o divisor de tensão para adequar a tensão de repouso.

Através da fórmula do divisor de tensão, podemos calcular a tensão do circuito quando o sensor não estiver captando nenhuma vibração. De acordo com os resistores utilizados e com a tensão de alimentação do circuito acima, vamos calcular a tensão de repouso.

$$V_r = \frac{V_t \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_{rep} = \frac{5 \text{ V} \cdot 220000 \text{ } \Omega}{1000000 \text{ } \Omega + 220000 \text{ } \Omega}$$

$$V_{rep} = \frac{1100000}{1220000}$$

$$V_{rep} = 0,901 \text{ V}$$

Temos então uma tensão de repouso adequada à utilização nos mais variados circuitos. Mas, ainda assim o circuito para a utilização do sensor de vibração não está completo.

Como mencionado anteriormente, os cristais piezoelétricos, presentes no sensor de vibração, podem gerar tensões muito altas, se submetidos a esforços mecânicos muito intensos. Mas os circuitos em geral não suportam essas tensões, como as entradas analógicas do Kit, que suportam uma tensão máxima de 5 V. Sendo assim, devemos protegê-las contra tensões excessivas que podem ser geradas pelo sensor.

Um dos métodos mais eficazes para realizar isso é utilizando um diodo Zener. Esses diodos são ligeiramente diferentes dos diodos comuns, pois são construídos de modo que possam conduzir a corrente nos dois sentidos: direto e reverso. No modo direto, ou seja, com uma tensão positiva no ânodo e uma negativa no cátodo, ele conduz a corrente como um diodo comum. Nos dois tipos, essa condução começa a ocorrer com tensões de aproximadamente 1 V, podendo variar de acordo com o modelo do diodo.

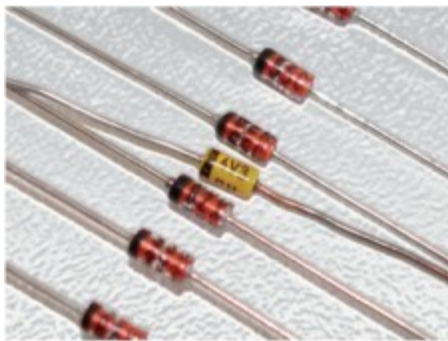


Figura 50: Diodos Zener e seu símbolo utilizado em esquemas eletrônicos.

Mas se o diodo Zener for polarizado inversamente, com uma tensão negativa no ânodo e uma positiva no cátodo, ele também é capaz de conduzir a corrente, ao contrário dos diodos comuns. Só que nesse caso, a condução será feita acima de uma tensão conhecida. Existem vários modelos de diodos Zener, cada um com uma tensão de condução reversa própria, que pode variar de algumas unidades a algumas dezenas de Volts. Essa tensão geralmente está indicada no corpo do diodo Zener, mas alguns modelos apresentam apenas códigos, o que exige a consulta de fichas técnicas.

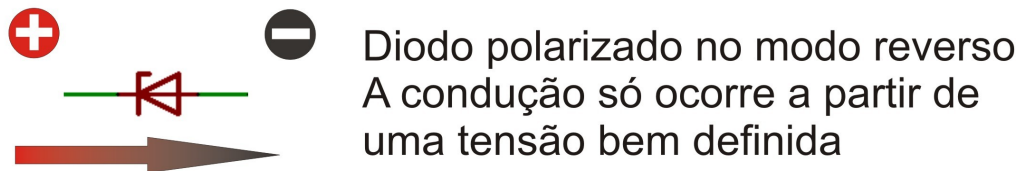
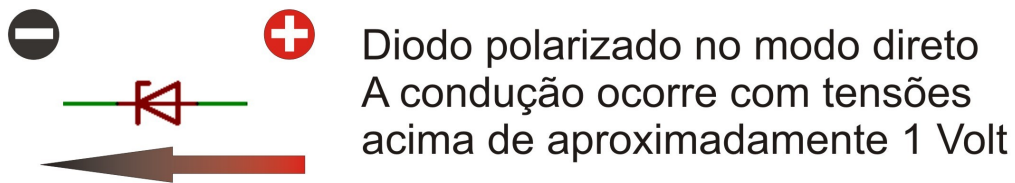


Figura 51: Utilização de um diodo Zener.

A identificação do cátodo e do ânodo do diodo Zener é feita como num diodo comum. Todo diodo possui uma pequena marca em seu corpo, próxima de um dos terminais, de cor diferente do resto do seu corpo, indicando que este terminal é o cátodo.

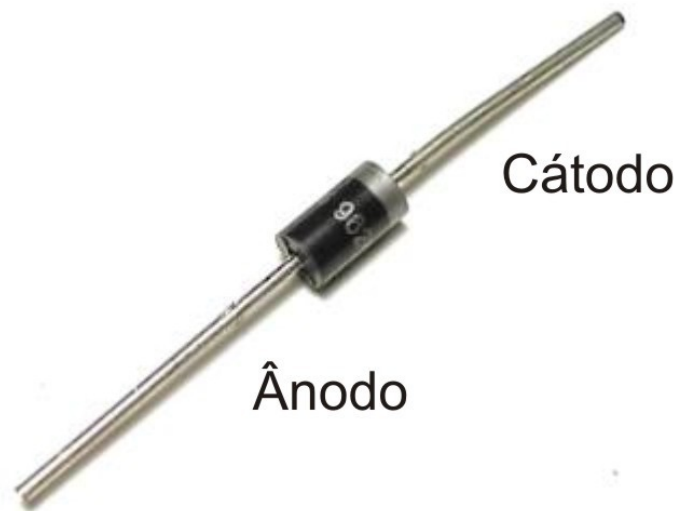


Figura 52: Identificando os terminais do diodo.

Devido a capacidade de conduzir apenas acima de uma determinada tensão, diodos Zener são utilizados para regular ou limitar a tensão de um circuito eletrônico. Além disso, os circuitos integrados reguladores de tensão 78xx e LM317 possuem diodos Zener em seu interior, de modo a oferecer uma tensão de referência para o circuito.

Para proteger a entrada analógica de qualquer tensão excessiva, utilizaremos então um diodo zener que pode conduzir de modo reverso acima de uma tensão de 4,3 V. Para que o diodo exerça essa proteção, ele deverá ter seu cátodo ligado ao divisor de tensão, enquanto que o ânodo deverá ser aterrado, ou seja, ligado ao terminal negativo da alimentação. Quando houver um sinal cuja

tensão máxima for superior à 4,3 V, o diodo começará a conduzir, fazendo com que a tensão do sinal se estabilize em 4,3 V. Dizemos que o sinal foi “cortado” pelo diodo.

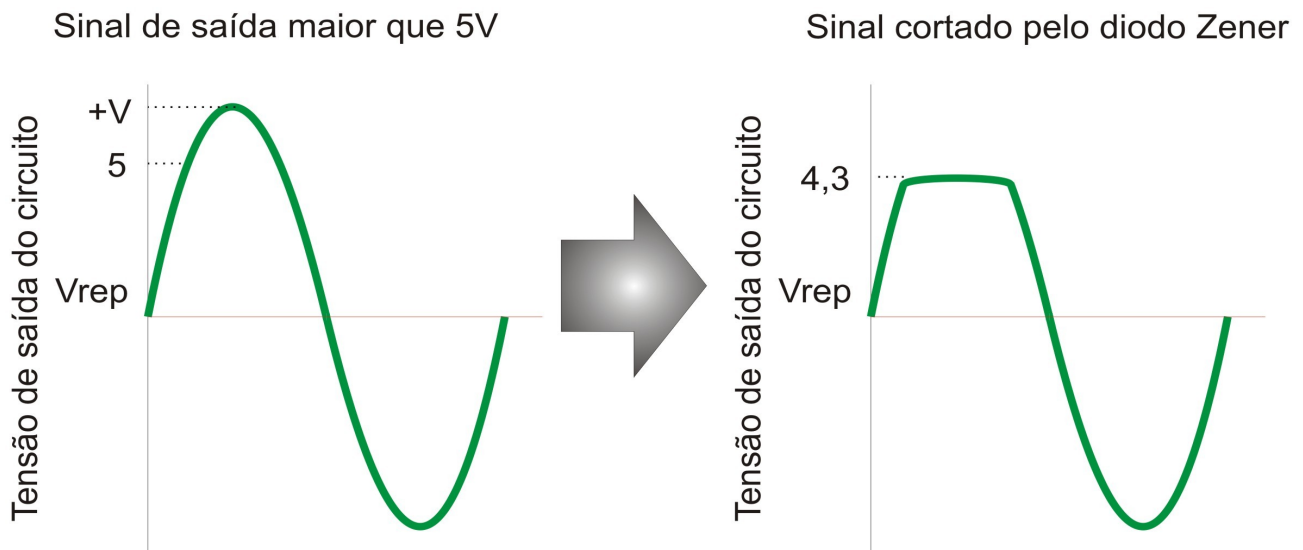


Figura 53: Proteção exercida pelo diodo Zener.

Após todas essas etapas, o sinal do sensor de vibração pode ser monitorado através de um circuito externo. O circuito necessário para a utilização do sensor de vibração é mostrado através do esquemático a seguir.

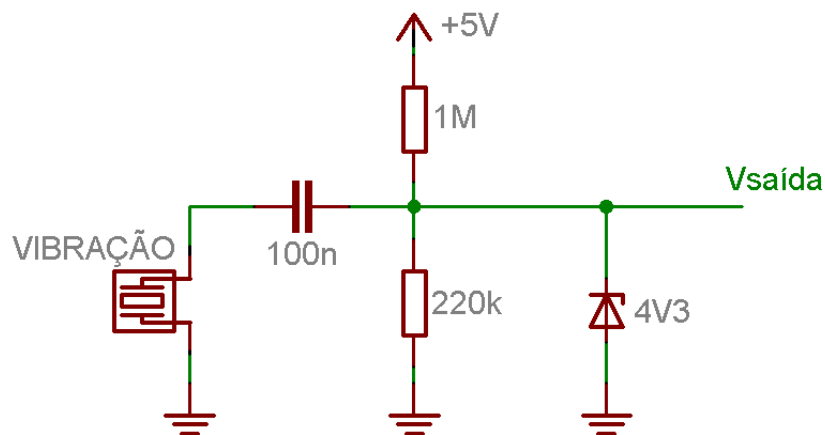


Figura 54: Circuito recomendado para a utilização de um sensor de vibração.

Sendo assim, é possível utilizar um sensor de vibração de forma simples e segura, sem o risco de danos a nenhum componente. O sensor pode ser posicionado em qualquer estrutura onde se deseja medir a vibração e um circuito externo ou um programa pode ser criado para interagir com as respostas desse sensor.

Sensor de distância



Figura 55: Sensor de distância.

Outro modelo de sensor muito aplicado em linhas de produção automatizadas é o sensor de distância. Dentre suas aplicações nesses ambientes, destacam-se a medição das dimensões dos objetos, controle de posicionamento e verificação de danos e falhas dos produtos.

Mas não apenas nos ambientes industriais eles estão presentes. Alguns automóveis já disponibilizam sensores de distância para auxiliar durante o estacionamento e até mesmo para controlar automaticamente a distância ao carro da frente. Além disso, esses sensores são amplamente utilizados em robôs, que utilizam-nos para monitorar o ambiente onde se encontram e assim evitar choques e quedas.

Existem vários modelos de sensores de distância disponíveis no mercado, baseados em radar, ultra-som, laser ou infravermelho. Os sensores baseados em radar e ultra-som (sonar) emitem um pulso de rádio ou de som e calculam o tempo que leva para que ele seja refletido e retorne ao sensor. Como a velocidade do pulso emitido é conhecida (300000 Km/s para o rádio e 1200 Km/h para o som, aproximadamente), é possível então calcular a distância ao objeto onde o pulso foi refletido. Contudo, tais modelos são caros e relativamente difíceis de operar.

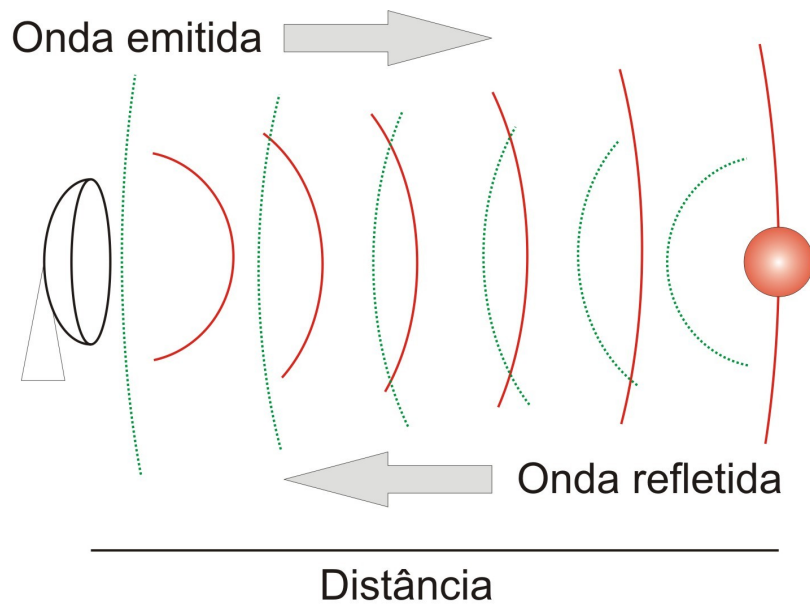
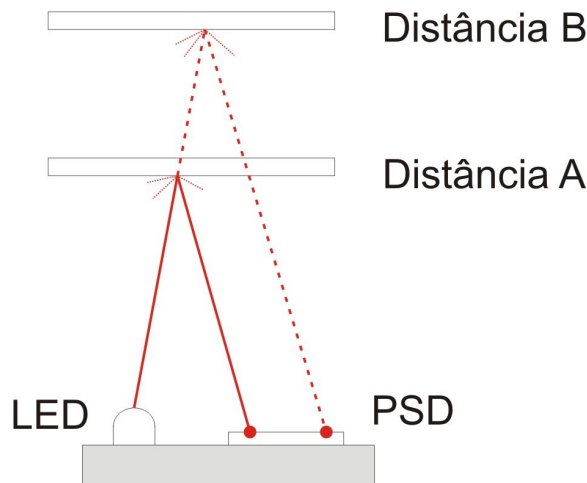


Figura 56: Funcionamento do radar e do sonar.

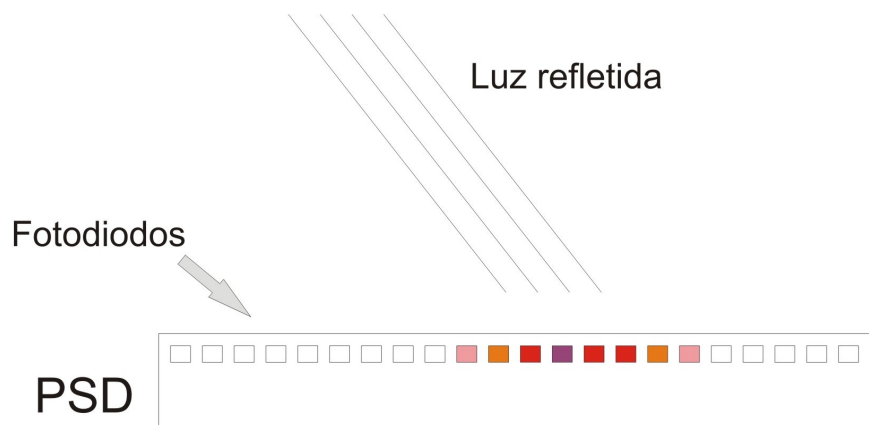
Já os sensores ópticos, que utilizam raios laser ou infravermelho, tem seu funcionamento baseado no princípio da triangulação. Um feixe de luz é emitido por um diodo laser ou um LED infravermelho. Ao ser refletido por um objeto, esse raio é detectado por um PSD (*Position Sensing Device* – Dispositivo de Monitoramento de Posição). De acordo com a distância do objeto que refletiu a luz, esse raio incide de modo diferente no PSD.



Através da triangulação, o sensor de distância pode identificar um mesmo objeto a distâncias diferentes

Figura 57: Funcionamento do sensor de distância.

O PSD é composto por vários componentes sensíveis à luz (fotodiodos). Um módulo de processamento monitora a resposta do PSD, podendo identificar a posição exata em que o raio incidiu no componente. Como essa posição depende da distância do objeto que refletiu o feixe de luz, o módulo processa esses sinais de modo a produzir uma saída correspondente a essa distância.



A luz refletida incide no PSD e aciona alguns fotodiodos
Um módulo processa essa informação, para que na saída
haja uma tensão correspondente à distância do objeto

Figura 58: Funcionamento do PSD (Position Sensing Device).

O sensor de distância óptico utilizado no Kit de Robótica é o GP2Y0A21YK, fabricado pela Sharp, baseado na triangulação do infravermelho. Ele reúne num único componente todas as funções necessárias para um sensor de distância, como emissor de infravermelho, PSD e módulo de processamento.

Quando alimentado corretamente, o módulo de processamento do sensor gera um sinal de saída cuja tensão varia de acordo com a distância do objeto. Observando o gráfico abaixo, disponível no manual do componente, podemos verificar o seu comportamento. Objetos numa distância de 5 a 80 cm do sensor podem ser facilmente identificados. Quando a distância entre o sensor e o objeto se manter estável, a tensão de saída do sensor será constante, correspondente à distância do objeto.

Observe que quanto maior a distância do objeto, menor será a tensão no terminal de saída do sensor. Para distâncias acima de 80 cm, o sensor já não responde bem, pois a variação da tensão torna-se cada vez menor. Para distâncias menores que 5 cm, o sensor também não é recomendado, pois o sinal de saída do sensor não corresponde à distância real do objeto.

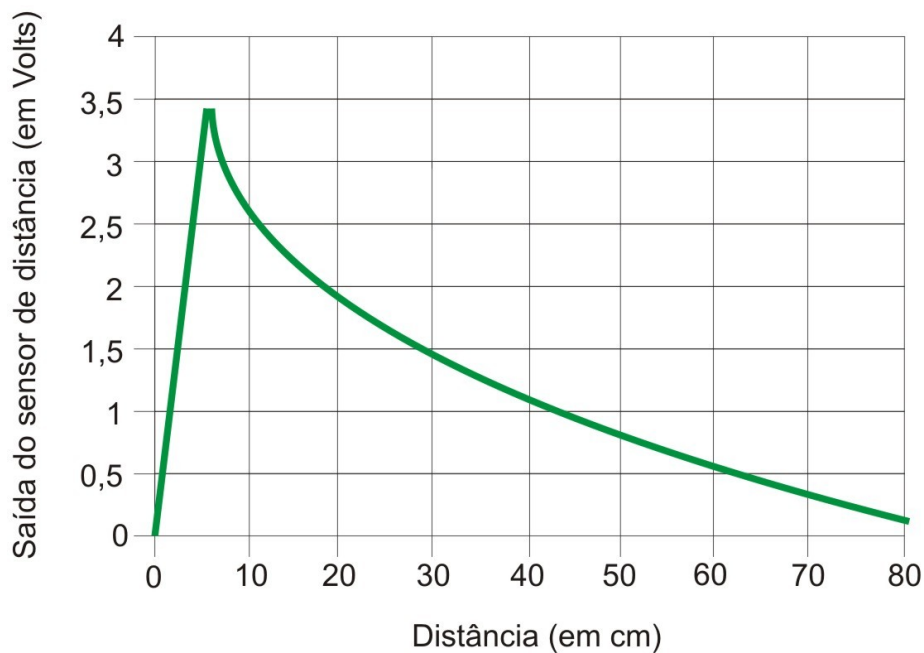


Figura 59: Gráfico de resposta do sensor de distância Sharp GP2Y0A21YK.

A utilização desse sensor é muito simples. Ele possui apenas três terminais de conexão, que podem ser identificados através da figura abaixo. A alimentação deve ser feita ligando o terminal V+ à alimentação de 5 V e o terminal GND deve ser ligado ao 0 V. É importante que a tensão não seja superior ou inferior a 5 V, com o risco de queima ou não-funcionamento do componente. O terminal Vo é a saída do sensor. A tensão dessa saída, que corresponde à distância de algum objeto à frente do sensor, poderá ser utilizada por um circuito externo ou até mesmo pelas entradas analógicas presentes no KDR5000 e no MEC1000.

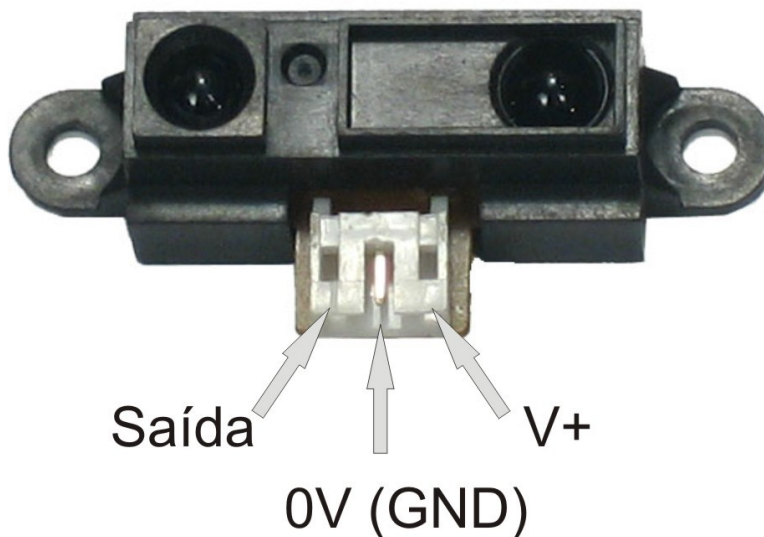


Figura 60: Pinagem do sensor de distância GP2Y0A21YK.

Para a perfeita utilização desse componente, são necessários alguns cuidados básicos. É recomendado evitar que o receptor do sensor de distância seja exposto diretamente à luz do sol ou

de uma lâmpada incandescente, pois eles interferem no funcionamento do sensor. Além disso, alguns objetos transparentes ao infravermelho ou muito refletivos (espelhos, superfícies lustrosas) também podem não ser identificados corretamente.

Para a utilização desse sensor, basta alimentá-lo corretamente, levando em consideração sua pinagem e os valores recomendados de alimentação. É recomendado que, para a utilização em algum circuito eletrônico, o seu sinal de saída seja aplicado em um AmpOp com ganho unitário, de modo que a corrente de saída do sensor seja baixa.

No Kit, basta conectá-lo a uma Entrada Analógica e alimentá-lo com a tensão presente nesses conectores. Sendo assim, o sensor de distância pode ser utilizado em qualquer aplicação, bastando apenas utilizar a sua criatividade.

Sensor de temperatura LM60



Figura 61: Sensor de temperatura LM60.

Além do termistor, podemos monitorar a temperatura do ambiente através de circuitos integrados dedicados a esse propósito. Dentre as vantagens desses componentes está a facilidade na sua aplicação, pois ele concentra todos os componentes necessários para a verificação da temperatura numa única peça.

O princípio de funcionamento desses circuitos é muito semelhante ao do termistor, pois ambos baseiam-se no fato de que o comportamento dos materiais semicondutores depende da temperatura. Mas o fato de ser um único circuito integrado, geralmente não necessitando de nenhum componente extra, facilita muito a utilização.

A principal classificação desses sensores é feita de acordo com o sinal de saída deles. Os modelos mais simples são os analógicos. Assim como qualquer sensor analógico, eles possuem um sinal de saída cuja tensão corresponde à temperatura do ambiente onde se encontra o sensor. Esse sinal analógico pode ser utilizado por um outro circuito analógico, como um AmpOp comparador, ou pode ser convertido num sinal digital para ser monitorado por um circuito digital, como um microcontrolador.

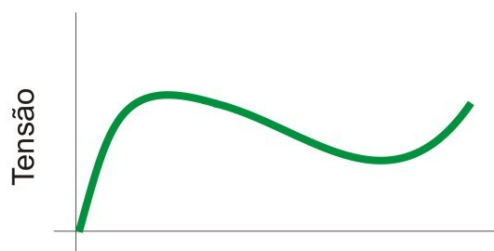
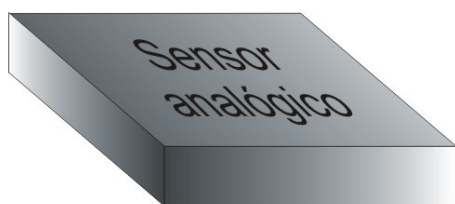


Figura 62: Saída de um sensor analógico.

Já os sensores de temperatura digitais respondem de maneira diferente. Os procedimentos de monitoramento da temperatura geralmente são semelhantes aos de um analógico. Ou seja, há a geração de um sinal analógico, cuja tensão corresponde à temperatura do ambiente. A diferença está no fato de que, no próprio circuito integrado, esse sinal analógico é convertido num sinal digital.

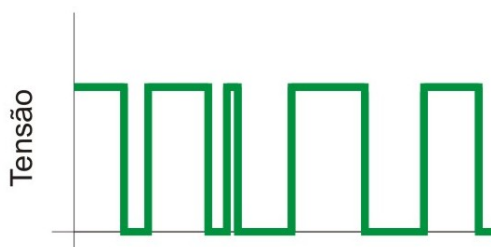


Figura 63: Saída de um sensor digital.

O sinal resultante é menos sujeito à interferências do que um sinal analógico, e pode ser lido mais facilmente por um circuito digital. O maior problema está no fato de que esse sinal não pode ser utilizado por um circuito analógico. Além disso, a aplicação de um sensor de temperatura digital é um pouco mais complicada do que a de um analógico.

Um dos sensores de temperatura analógicos mais comuns é o LM60, fabricado pela National Semiconductor. Apesar de estar num encapsulamento TO-92, comumente utilizado para transistores, esse componente é um circuito integrado. Como seu sinal de saída é analógico, ele pode ser facilmente empregado tanto em circuitos analógicos quanto em circuitos digitais que possuam conversores A/D. Podem ser medidos quaisquer valores de temperatura numa faixa que vai de -40°C a 125°C.

Para utilizar adequadamente o LM60, é necessário estar atento à sua pinagem. Uma conexão errada pode causar danos irreversíveis ao componente. Felizmente, os seus terminais podem ser facilmente identificados, como podemos comprovar na imagem abaixo. A alimentação desse componente pode ser feita com uma tensão entre 3 e 9 V.

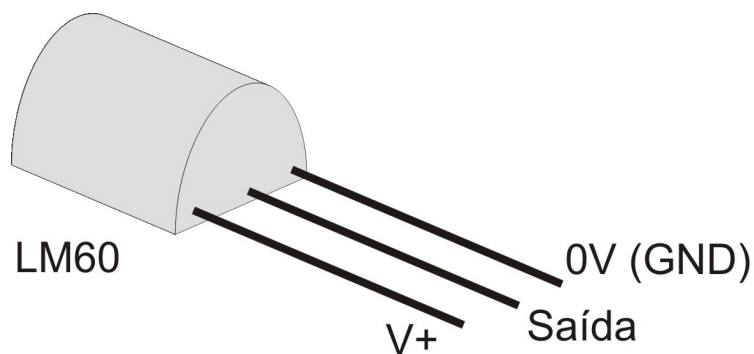


Figura 64: Pinagem do LM60.

Uma das vantagens da aplicação de um sensor de temperatura na forma de circuito integrado está na sua resposta. Como podemos verificar no gráfico abaixo, a resposta é extremamente linear, o que facilita muito a sua utilização. Esse sensor é calibrado de modo que para um aumento de 1°C, a tensão de saída do componente aumenta em 6,25 mV. De acordo com as especificações do fabricante, a tensão presente na saída varia de um máximo de 1205mV (a 125°C) a um mínimo de 174mV (a -40°C), embora esses valores possam variar.

A precisão média desse sensor é de $\pm 3^{\circ}\text{C}$, ou seja, quando a temperatura ambiente for de exatamente 25°C, a resposta do sensor poderá ser correspondente a um valor entre 22 e 28°C.

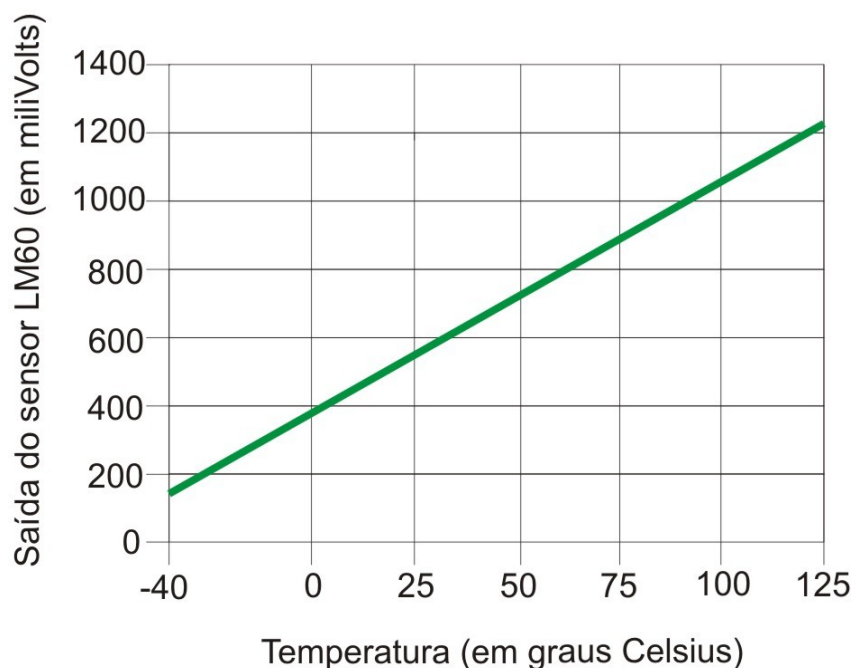


Figura 65: Gráfico de resposta do LM60.

A maior vantagem no uso do LM60 está no fato de que não é necessário nenhum outro componente externo. Podemos aplicar o seu sinal de saída diretamente num circuito sem precisar montá-lo na forma de um divisor de tensão, necessitando apenas de um AmpOp com ganho unitário. A sua precisão e a linearidade também permitem que seja mais fácil monitorar a temperatura ambiente.

Para monitorar o sensor de temperatura LM60 através do MEC1000 ou do KDR5000, é necessário conectá-lo a uma entrada analógica. Podemos alimentá-lo com a tensão de 5V presente nesses conectores, que é suportada pelo integrado, tomando cuidado para ligá-lo corretamente. O terminal de saída do LM60 pode então ser ligado diretamente à entrada analógica.

Um procedimento que não é obrigatório, porém é recomendado, é amplificar o sinal de saída do sensor, para que possamos visualizar melhor a mudança do sinal de acordo com a temperatura. Podemos ver as vantagens desse procedimento ao comparar um sinal normal com um sinal amplificado. Para uma mesma variação da temperatura, a tensão do sinal amplificado variará mais do que o sinal normal. Isso permite leituras mais precisas e uma visualização melhor num gráfico, por exemplo.

Podemos fazer isso utilizando um AmpOp (LM324N, por exemplo), numa configuração cujo ganho seja de aproximadamente 1,5. O sinal do LM60 deve ser aplicado diretamente na entrada positiva do AmpOp. Entre a entrada negativa e a saída, colocaremos um resistor de 1 k Ω , e entre a entrada negativa e o 0 V da alimentação, colocaremos um resistor de 2,2 k Ω . De acordo com a fórmula do ganho do AmpOp, temos que o ganho será de aproximadamente 1,5. O esquemático abaixo ilustra o circuito necessário para a conexão do sensor de temperatura LM60 à uma entrada analógica através de um AmpOp.

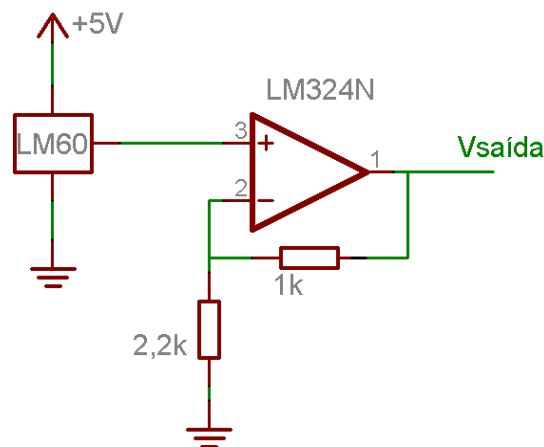


Figura 66: Circuito recomendado para a utilização do LM60.

As aplicações a que esse sensor pode ser destinado são quase as mesmas do termistor, porém, devido ao fato de ser um circuito integrado destinado à essa aplicação específica, ele pode ser utilizado de forma mais fácil do que o termistor, pois seu sinal de saída já corresponde claramente à temperatura detectada por ele, além de, na maioria das aplicações, não ser necessário nenhum componente extra.

Acelerômetro

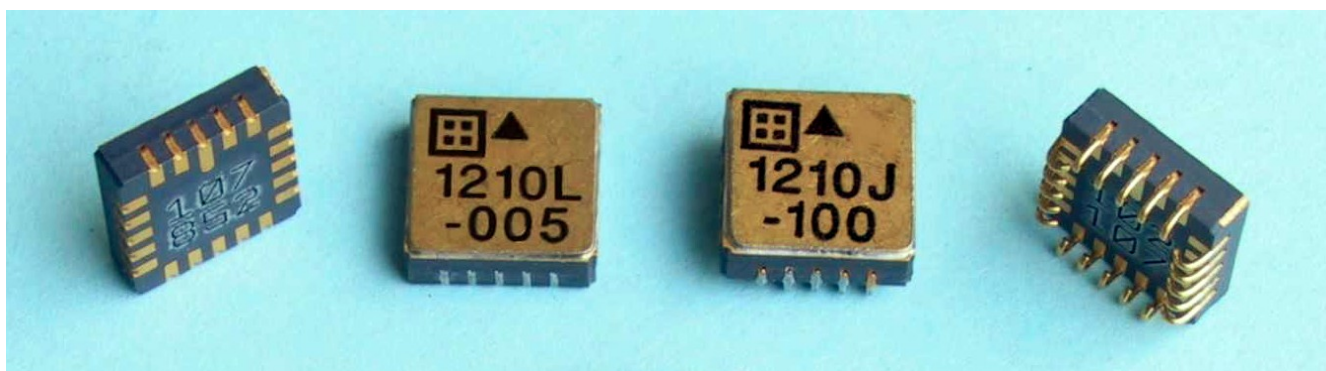


Figura 67: Acelerômetros.

Acelerômetros são dispositivos dedicados à medir a aceleração sofrida por um corpo. São muitas as situações em que os acelerômetros são aplicados. A mais conhecida de todas é, sem dúvida, é em automóveis, mais especificamente em air-bags. Nesse caso, um acelerômetro monitora constantemente a aceleração do veículo. Quando ocorre uma desaceleração muito grande, que caracteriza um acidente, é então acionado um circuito destinado a disparar o air-bag rapidamente e proteger os ocupantes do carro.

Eles podem ser utilizados em várias outras aplicações, como por exemplo sismômetros para monitoramento de abalos sísmicos, estabilização automática da imagem em câmeras digitais, determinar a velocidade e a distância percorrida por um atleta (através de acelerômetros colocados em tênis). Recentemente, fabricantes de notebooks estão colocando acelerômetros em HDs para protegê-los. Quando o acelerômetro detecta que o aparelho está em queda livre, as cabeças de leitura do HD se afastam do disco rígido, evitando que todos os dados presentes nele sejam perdidos devido ao impacto. Além disso, acelerômetros também podem ser aplicados para medir inclinações, que será explicado mais adiante. Assim como o sensor de distância e o sensor de temperatura LM60, os acelerômetros são componentes complexos, integrando vários componentes numa única peça.

Existem diversos métodos para a construção de um acelerômetro. Um tipo de acelerômetro utiliza os mesmos materiais piezoelétricos que podem ser utilizados nos sensores de vibração. Eles contêm alguns cristais microscópicos que são comprimidos por forças de aceleração, o que gera uma certa voltagem. Outro método muito comum para a construção de acelerômetros é monitorar variações de capacitância, princípio semelhante ao funcionamento de alguns tipos de microfone.

Nesses modelos, são colocadas três placas, formando dois capacitores, sendo que uma dessas placas é móvel. Conforme a aceleração, a distância entre as placas varia, o que altera a capacitância do conjunto. Um pequeno módulo de processamento monitora constantemente esses capacitores, de modo a extrair a aceleração através da diferença entre esses capacitores.

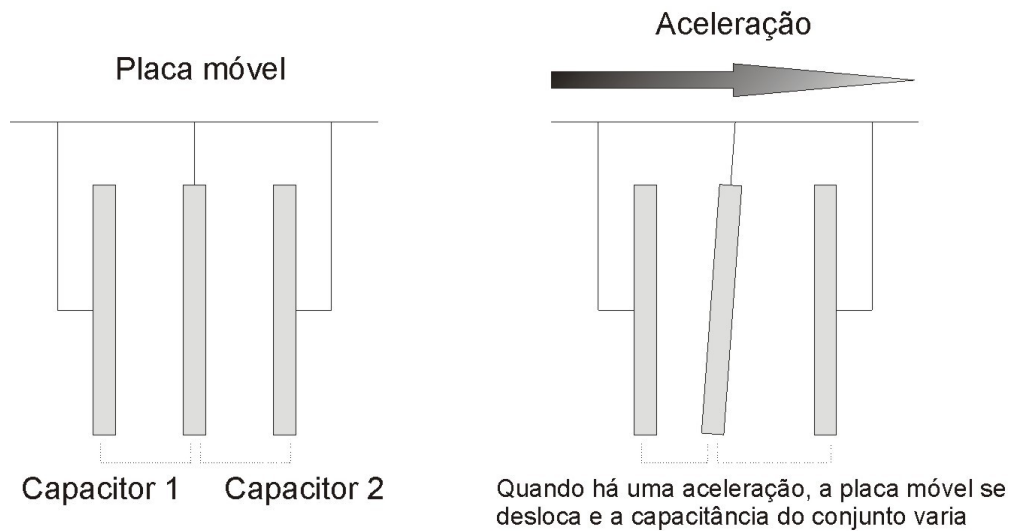


Figura 68: Funcionamento dos acelerômetros capacitivos.

Tais acelerômetros foram desenvolvidos recentemente, utilizando a tecnologia MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems* – Sistemas Micro-Eleto-Mecânicos), que possibilita montar estruturas mecânicas e eletrônicas em escalas muito pequenas, possibilitando a integração dessas estruturas a circuitos integrados e a construção de componentes pequenos, baratos, de alto desempenho e baixo custo.

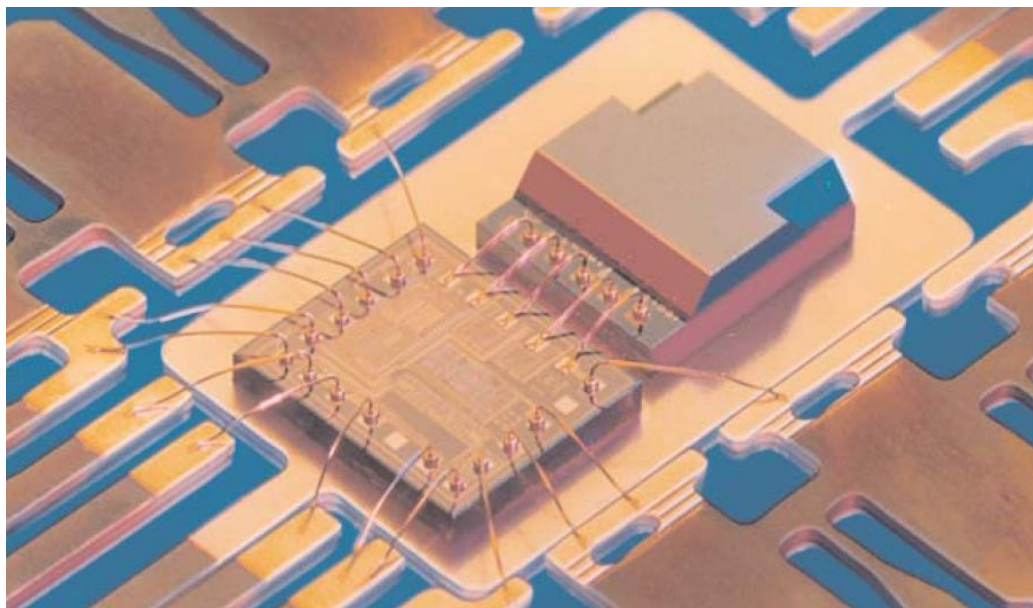


Figura 69: Interior do acelerômetro: acima encontra-se a estrutura MEMS que identifica acelerações e no centro o módulo de processamento.

Os acelerômetros também podem ser classificados de acordo com a forma do sinal de saída. Nos acelerômetros analógicos, a saída é um valor de tensão proporcional à aceleração sofrida pelo componente. Caso a aceleração se mantenha constante, a tensão na saída do acelerômetro também estará constante. Já os acelerômetros digitais já fazem internamente a conversão desse sinal analógico para um sinal digital, ou seja, enviam um sinal digital de acordo com a aceleração sofrida

pelo componente. Devido à maior disponibilidade e à maior facilidade de se trabalhar com modelos analógicos, eles serão utilizados como referência para explicar a utilização de um acelerômetro.

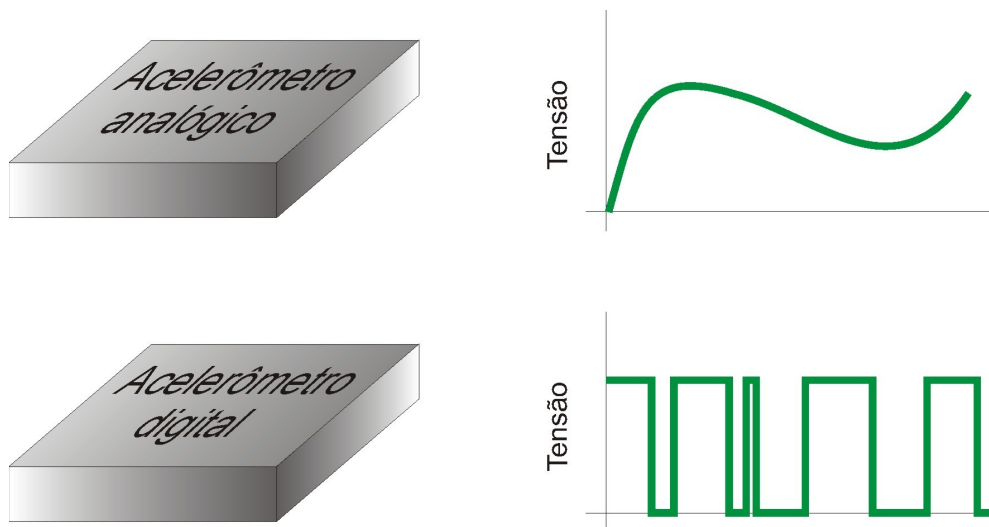


Figura 70: Respostas de acelerômetros analógicos e digitais.

Para a melhor utilização de um acelerômetro, devemos ainda ter conhecimento sobre alguns conceitos, que serão úteis para definir qual é o melhor componente para determinada aplicação.

Os acelerômetros disponíveis no mercado podem medir acelerações em um (apenas X ou Z), dois (XY ou XZ) ou três eixos (XYZ). Para a maioria das aplicações, dois eixos já são suficientes, porém, quando for necessário monitorar acelerações em três dimensões, um modelo de três eixos deverá ser utilizado. Cada eixo possui uma saída própria, através da qual é possível monitorar a aceleração sofrida pelo componente nesse determinado eixo. Para identificar corretamente tais eixos, basta procurar as especificações do componente, disponíveis na Internet, onde podemos encontrar todas as informações necessárias.

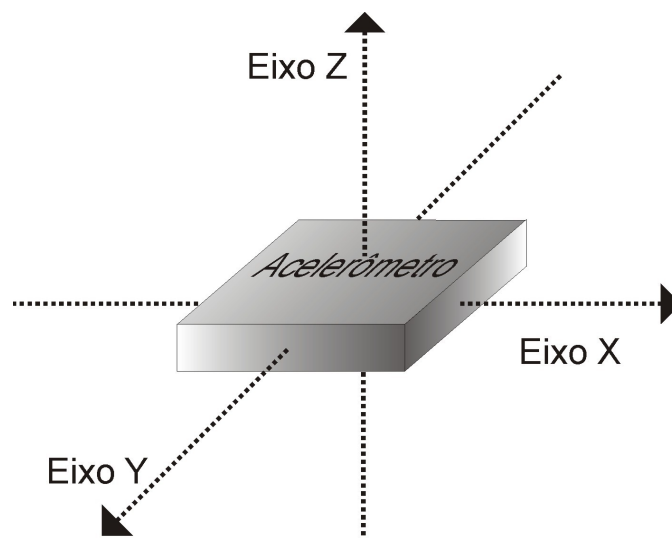


Figura 71: Eixos nos quais um acelerômetro é capaz de medir acelerações.

Outro fator que deve ser levado em consideração é o valor máximo de aceleração que será medido. Os acelerômetros possuem um valor limite, acima do qual ele pode ser danificado. Como os modelos que suportam maiores acelerações são mais caros, é importante escolher o modelo ideal. Tais valores limite são estabelecidos tendo como referência a gravidade da Terra ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$). Para aplicações comuns, como no exemplo do acelerômetro montado no HD do computador, um valor limite de 2g já é suficiente. Quando for necessário aplicar o componente em situações que exigem paradas súbitas, é recomendado que se utilize um modelo capaz de suportar acelerações acima de 5g. Apenas para ter uma idéia, acelerômetros destinados a acionar air-bags de automóveis tem um valor limite de aproximadamente 200g.

A sensibilidade do acelerômetro indica o quanto o sinal de saída varia de acordo com a aceleração. Quanto mais sensível, melhor, pois variações maiores do sinal podem ser lidas mais facilmente, dando maior precisão à medida.

Outro conceito utilizado em acelerômetros é a largura de banda. Ela indica a frequência a qual o componente medirá a aceleração e atualizará o sinal de saída. Para a maioria das aplicações, 10 leituras por segundo (10 Hz) já é suficiente. Porém algumas aplicações exigem acelerômetros que respondam muito rapidamente, com larguras de banda da ordem de centenas de Hz. Em alguns sensores, essa frequência de leitura pode ser modificada, de acordo com o valor do capacitor colocado na saída do sensor.

Alguns cuidados são extremamente necessários ao utilizar esses componentes. O mais importante é nunca deixar o componente cair numa superfície dura. Caso ele sofra diretamente o impacto da queda, é possível que seja danificado. Outro cuidado muito importante é com a eletricidade estática que pode ser acumulada no nosso corpo. Muitos componentes são sensíveis às descargas eletrostáticas que podem ocorrer entre o corpo e o componente, ao pegá-lo. A forma mais simples de precaução é nunca tocar nos seus terminais.

Para a utilização adequada de um acelerômetro, é muito importante saber a posição dos seus eixos, de modo a poder orientar o componente para medir a aceleração no eixo correto. Nas especificações do componente (datasheet), que pode ser encontrado no site do fabricante, além de informações úteis como características elétricas e pinagem, é possível encontrar a posição dos eixos X, Y e Z em relação ao corpo do componente.

Já foi explicado que, num acelerômetro analógico, o nível de tensão equivale à aceleração sofrida pelo componente. Caso o componente não esteja sofrendo nenhuma aceleração em determinado eixo, o nível de saída ficará constante num valor que, geralmente, é a metade da tensão de alimentação do acelerômetro. Ao sofrer uma aceleração no sentido positivo do eixo, podemos verificar que a tensão de saída aumenta, até um valor próximo da alimentação do componente. Se ele sofrer uma aceleração no sentido negativo do eixo, então a tensão da saída diminuirá até um valor próximo de 0. Mas se a aceleração for perpendicular ao eixo, ela não será detectada.

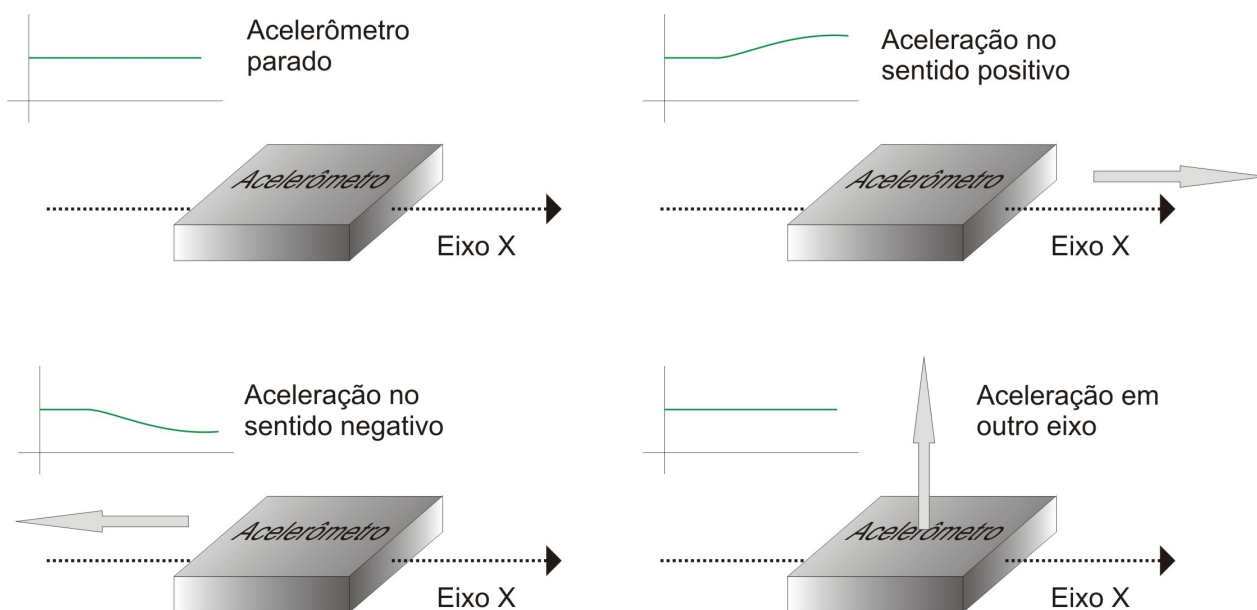


Figura 72: Respostas do acelerômetro de acordo com a aceleração sofrida. Quando ele está parado, a saída do eixo X mantém-se na tensão de repouso. Ao sofrer uma aceleração no sentido positivo do eixo, a tensão sobe. Ao sofrer uma aceleração no sentido negativo, a tensão cai. Quando a aceleração ocorre perpendicular ao eixo, ela não é detectada.

É interessante notar que o acelerômetro não fica sujeito apenas a acelerações dinâmicas (como a de um carro, por exemplo), mas também a acelerações estáticas (a da gravidade da Terra). Caso você posicione o acelerômetro de modo a algum eixo ficar no sentido da aceleração gravitacional, o sinal de saída desse eixo será correspondente a uma aceleração de $1g$, mesmo que o componente esteja absolutamente imóvel.

Acelerômetro medindo uma aceleração estática

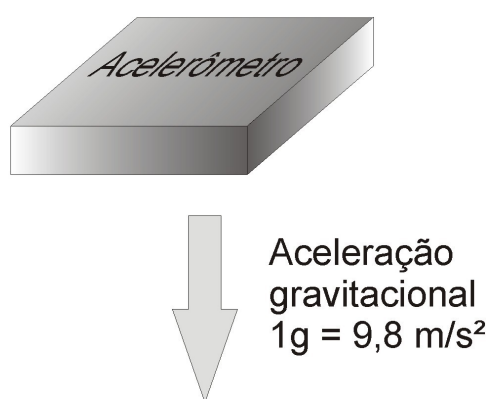


Figura 73: Medindo a aceleração gravitacional com um acelerômetro. Neste caso a tensão de saída do eixo será correspondente a uma aceleração de $9,8 \text{ m/s}^2$.

Como já foi descrito anteriormente, uma das aplicações dos acelerômetros é medir inclinações. Mas como isso pode ser feito? Através do princípio demonstrado acima e de um pouco

de trigonometria, podemos fazê-lo facilmente. Vamos imaginar a seguinte situação: estamos monitorando apenas o eixo Z de um acelerômetro. Quando ele se encontra paralelo ao chão, o sinal de saída indica uma aceleração de 1g, que é a aceleração gravitacional da Terra. Se o posicionarmos perpendicular ao chão, o sinal de saída desse eixo Z indicará que ele não sofre nenhuma aceleração. E se ele for posicionado num ângulo de, digamos, 45 graus?

Em paralelo com o solo, o eixo Z do acelerômetro mede a plenamente a aceleração gravitacional

Em perpendicular com o solo, o eixo Z não sofre nenhuma aceleração

Inclinado em relação ao solo, o eixo Z do acelerômetro sofre parte da aceleração gravitacional

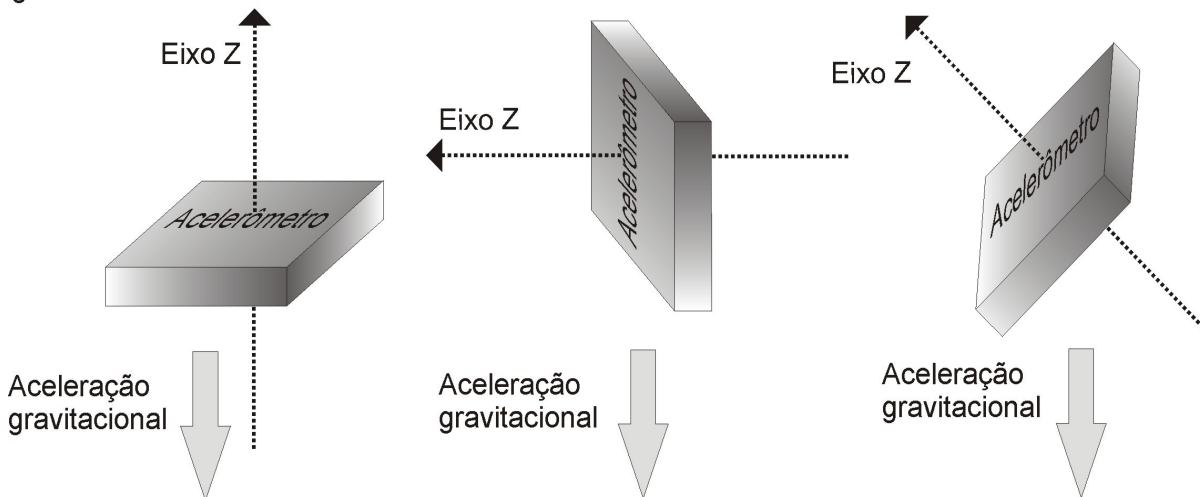


Figura 74: Eixo Z do acelerômetro em diferentes inclinações.

Através da trigonometria, podemos chegar na equação abaixo. Podemos dividir a aceleração em duas componentes, uma no eixo Z (que estamos monitorando) e uma no eixo X ou Y (de acordo com o posicionamento do acelerômetro). A aceleração sofrida pelo eixo Z é igual à aceleração da gravidade vezes o cosseno do ângulo α (que é o ângulo formado entre o eixo Z e a aceleração gravitacional).

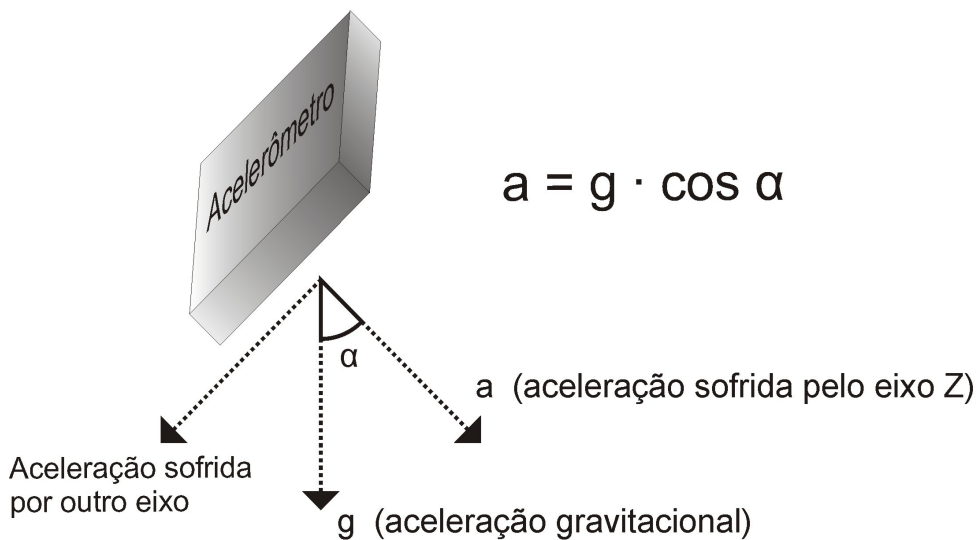


Figura 75: Determinando a aceleração gravitacional sofrida pelo eixo Z.

Analogamente, temos que a tensão de saída correspondente ao eixo Z ($V_{saída}$) é igual à tensão de saída correspondente à aceleração de $1g$ vezes o cosseno do ângulo α . Como o valor das duas tensões podem ser facilmente conhecidas, podemos encontrar o valor do cosseno e, por sua vez, do próprio ângulo α .

$$V_{saída} = V_{grav} \cdot \cos \alpha$$

Podemos comprovar facilmente essas equações. Voltando à primeira situação apresentada, quando o acelerômetro está paralelo ao chão, o ângulo formado entre eixo Z e a aceleração gravitacional é 0° . Como o cosseno de um ângulo de 0° é igual a 1, temos que a aceleração medida nesse eixo é igual a $1g$. No caso em que o acelerômetro se encontra perpendicular ao chão, o ângulo formado entre o eixo Z e a aceleração gravitacional é de 90° . O cosseno de um ângulo de 90° é 0, então temos que não há nenhuma aceleração orientada nesse eixo.

Acelerômetros com essa função são utilizados em várias funções, como alarmes de carro, controles de videogames e sistemas de controle de estabilidade de automóveis. Podemos então utilizar um acelerômetro em alguma superfície ou objeto e medir sua inclinação. Pode ser feita a leitura da saída do acelerômetro através do Kit e implementar um programa que mostre a inclinação de uma superfície ou objeto onde se encontra um acelerômetro, e a partir dessas informações, realizar certas ações.

Caso o acelerômetro utilizado não meça acelerações no eixo Z, basta utilizar outro eixo. Utilizamos o eixo Z nesse tutorial apenas para exemplificar o uso do acelerômetro para medir inclinações.

Para monitorar o acelerômetro através de um circuito externo, devemos monitorar a saída de cada eixo separadamente. Portanto, se o acelerômetro utilizado possuir 3 eixos, é necessário monitorar suas 3 saídas através de entradas distintas. Ao ligá-lo no Kit, por exemplo, será necessário utilizar 3 Entradas Analógicas de sensores. Quando utilizá-lo com um outro circuito, lembre-se de utilizar um AmpOp na configuração de ganho unitário, para evitar qualquer problema relacionado às impedâncias do acelerômetro e do circuito utilizado.

Podemos alimentar o acelerômetro através de uma fonte externa ou, caso o sensor seja conectado ao Kit e suporte uma tensão de 5 V, pelas saídas de alimentação disponíveis nos conectores de sensores genéricos.

Sensor de pressão atmosférica

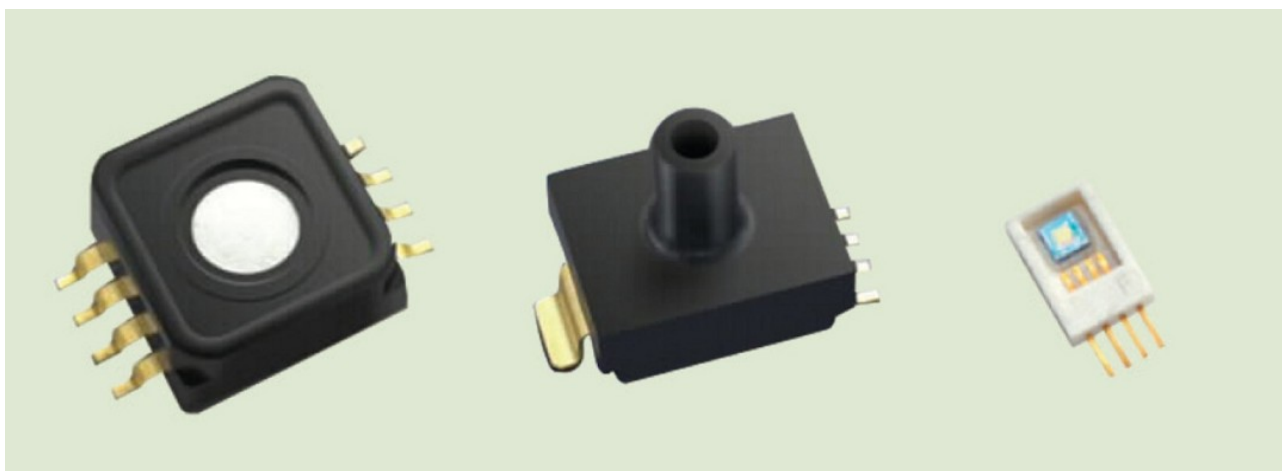


Figura 76: Sensores de pressão atmosférica.

A pressão atmosférica é basicamente a força exercida pelo ar sobre alguma superfície. Monitorando as variações na pressão atmosférica, os sistemas de meteorologia podem fazer previsões de tempo. Quando a pressão de uma determinada região cai, há uma grande probabilidade de que ocorram chuvas e tempestades ou, em casos extremos, furacões ou tornados. Ao contrário, quando a pressão mantém-se num nível alto, muito provavelmente o clima estará seco e limpo.

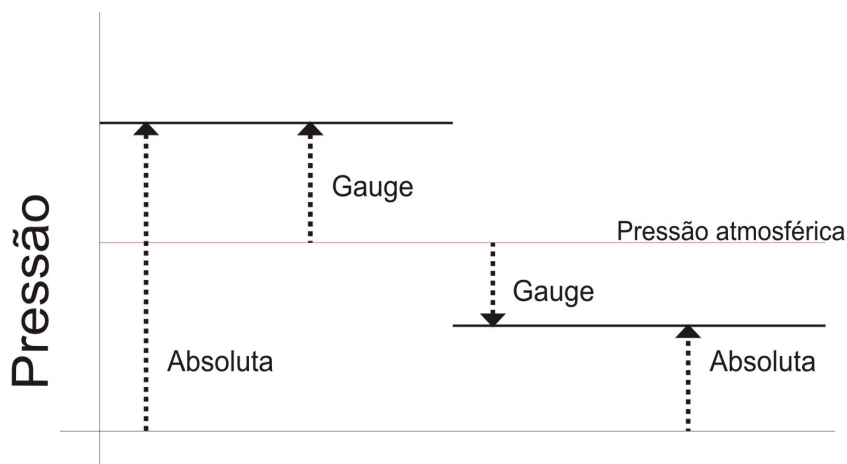
Dentre outros fatores, como o clima e a temperatura do ar, a pressão atmosférica varia de acordo com a altitude. Em regiões baixas, próximas do nível do mar, a atmosfera é densa, ou seja, com uma grande concentração de moléculas, o que faz com que a pressão seja mais alta. Quanto maior a altitude, mais rarefeita será a atmosfera, ou seja, as moléculas encontram-se mais afastadas umas das outras. Isso faz com que nesses locais a pressão seja menor do que no nível do mar.

Outra aplicação mais específica desses sensores é medir a pressão do ar nos pneus dos automóveis. Além de tal informação ser muito valiosa para modelos de corrida, ela é útil também para motoristas comuns, pois pneus vazios geram maior atrito com o asfalto e, conseqüentemente, aumentam o consumo de combustível. Podemos também encontrá-los em indústrias, pois a pressão dentro de tubulações, caldeiras e máquinas é algo que deve ser monitorado constantemente, auxiliando a encontrar falhas e prevenir problemas graves.

Através de um instrumento capaz de medir a pressão que o ar exerce sobre ele, podemos construir, observando esses conceitos, um equipamento que seja capaz de fazer previsões climáticas (com certas limitações, é claro, pois não é a pressão é apenas um dos componentes que influenciam no clima) ou de monitorar variações de altitude.

Os sensores de pressão atmosférica podem ser classificados em três tipos, de acordo com a referência utilizada para a leitura: gauge, absoluto ou diferencial.

Os sensores de pressão gauge medem a pressão do ambiente em relação à pressão atmosférica local. Já os sensores de pressão absoluta medem a pressão em relação ao zero (vácuo total). Podemos fazer uma analogia sobre o funcionamento desses sensores: imagine-se num carro a exatos 100 km/h, medindo a velocidade dos outros veículos em relação ao seu. Agora, imagine-se novamente medindo a velocidade dos veículos, porém desta vez parado na beira dessa estrada. Nesse caso, a velocidade será medida tendo como referência o 0 km/h, pois você estará parado. Podemos comparar o primeiro fato com o funcionamento do sensor gauge, enquanto que o segundo seria o sensor de pressão absoluta.



No sensor gauge, a pressão é medida em relação à pressão atmosférica, enquanto que no absoluto, ela é medida em relação ao zero.

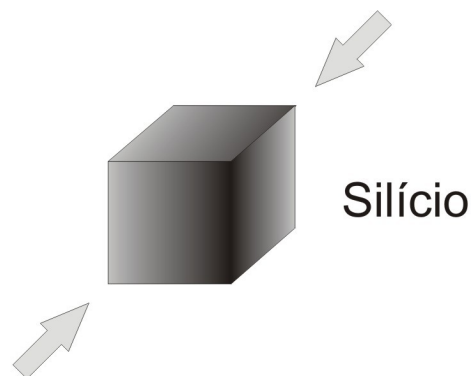
Figura 77: Enquanto o sensor de pressão absoluta mede em relação ao zero, o sensor gauge compara com a pressão atmosférica local.

Além desses dois tipos, encontramos os sensores diferenciais, que podem ser utilizados para comparar duas pressões. Para isso, ele possui duas entradas de ar, e o nível de tensão da saída indica a diferença entre as pressões.



Figura 78: Sensor de pressão diferencial.

Os sensores de pressão são, dentre outros métodos, geralmente construídos com materiais piezoresistivos. Esses materiais possuem a capacidade de variar sua resistência quando submetidos a um esforço mecânico. Esse efeito é mais comum em materiais semicondutores, como o silício ou germânio (que são amplamente utilizados na eletrônica na construção de diodos, transistores e circuitos integrados). É importante notar que o efeito piezoresistivo é distinto do efeito piezoelétrico. Enquanto que os materiais piezoelétricos (utilizados em alguns modelos de sensores de vibração e microfones) geram uma tensão quando pressionados ou deformados, os piezoresistivos sofrem uma mudança na sua resistência.



Quando um material piezoresistivo é submetido a um esforço mecânico, sua resistência varia

Figura 79: Funcionamento do sensor de pressão.

O seu princípio de funcionamento é o seguinte: são construídas duas câmaras e entre elas é colocada uma película de material piezoresistivo. O modo como essas câmaras são construídas é que define qual é o tipo do sensor. Num sensor de pressão absoluta, uma dessas câmaras é fechada e outra é aberta, destinada à pressão a ser medida. A câmara fechada contém vácuo, ou seja, a pressão

a ser monitorada é medida em relação à pressão zero. Esse sensor é ideal para medir pressões baixas, menores do que a atmosférica.

Num sensor gauge, as duas câmaras são abertas, sendo que uma é destinada a pressão a ser medida, enquanto que outra é destinada a entrada de ar atmosférico. Desse modo, a pressão é medida em relação à pressão atmosférica local. Caso a pressão externa for igual à utilizada como referência para o sensor, a força resultante sobre o material piezoresistivo será nula. Se uma das pressões for maior do que a outra, temos que a película será submetida a um esforço e sua resistência irá mudar. O sensor de pressão diferencial também possui as duas câmaras abertas, porém elas são destinadas às pressões que serão comparadas pelo sensor.

Nos modelos piezoresistivos, essa estrutura destinada a medir a pressão é construída utilizando a tecnologia MEMS (a mesma utilizada em acelerômetros), que possibilita a sua montagem em dimensões extremamente reduzidas, possibilitando a integração de todos os componentes numa única peça.

Ao utilizar esses sensores, devemos tomar alguns cuidados, para não comprometer a durabilidade do componente. Lembre-se sempre de que esses componentes são sensíveis e não podem ser submetidos a condições e ambientes que possam prejudicar seu funcionamento. A dica mais importante é nunca pressionar a região de sensibilidade do componente. Esses sensores são destinados exclusivamente a medir a pressão do ar ou de algum gás e não devem ser pressionados.

Alguns sensores também podem ser sensíveis a ambientes muito úmidos, pois como o sensor é aberto ao ambiente externo, a umidade pode danificá-lo. Também é muito importante evitar que algum líquido, sujeira ou poeira possa entrar nas aberturas do sensor e causar algum malfuncionamento.

Além disso, tais sensores possuem uma faixa de operação, na qual respondem adequadamente às variações da pressão. Porém, se a pressão estiver acima ou abaixo desses valores limites, eles já não responderão. E se a pressão for muito acima do limite, eles podem ser danificados. Tais valores variam de acordo com o modelo utilizado, portanto, informe-se das especificações desses componentes antes de utilizá-los. Verifique também a pinagem do sensor utilizado e a alimentação necessária para o seu funcionamento.

Para que possamos conectá-lo a algum circuito externo, é recomendado a utilização de um AmpOp com ganho unitário, de modo que a corrente de saída do sensor seja muito pequena, não havendo riscos de danos. Para a conexão do sensor ao Kit, é possível ligar sua saída diretamente à entrada analógica. É importante verificando bem sua pinagem antes de ligá-lo. Caso o sensor utilizado suporte uma tensão de alimentação de 5V, esta pode ser providenciada através dos conectores de entradas analógicas.

Já vimos que um dos fatores que determinam a pressão atmosférica é a altitude. Como esses sensores são sensíveis, capazes de detectar pequenas variações de pressão, uma aplicação muito interessante a qual eles podem ser destinados é medir altitudes. Dependendo da aplicação, podemos desconsiderar a influência do clima (temperatura, luminosidade) sobre a pressão e levar em consideração apenas que o fato de que a pressão varia em função da altitude. Um exemplo de onde podemos aplicá-los é em aeromodelos de controle remoto e foguetes amadores, dentre outras possibilidades. De acordo com o modelo do sensor utilizado, é possível detectar variações de menos de 1 metro.

A pressão é um dos fatores mais importantes para a previsão meteorológica, e através do seu monitoramento, o que geralmente é feito através de um equipamento chamado barômetro, é possível fazer uma previsão do clima. Isso porque uma pressão atmosférica alta indica que o clima estará bom, enquanto que uma pressão baixa indica uma alta probabilidade de chuvas ou

tempestades. Deste modo, com um sensor de pressão atmosférica, é possível criar um barômetro eletrônico e fazer uma previsão do tempo confiável. Para que haja uma maior precisão na medida do sensor, é recomendado que ele esteja fixo numa determinada posição, para que variações de altitude não influam na leitura.

Sensor de campo magnético

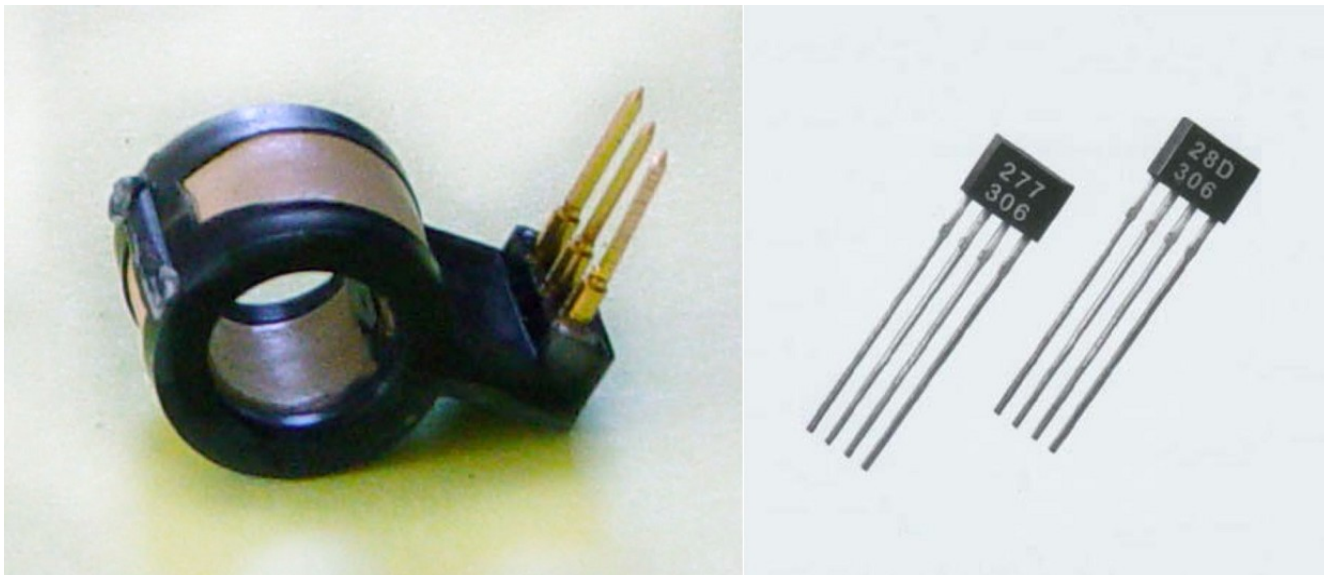


Figura 80: Sensores de campo magnético. O modelo da direita é destinado a ser encaixado em cabos e medir correntes elétricas a partir do campo magnético produzido por elas.

Outro modelo de sensor que pode ser encontrado é o sensor de campo magnético. Ele pode ser destinado a medir campos magnéticos (que pode ser o terrestre ou o gerado através de um ímã, por exemplo) ou uma variação nesse campo causada por um material ferromagnético. Esses sensores podem ser aplicados em várias situações. Uma das mais importantes aplicações é em aviões onde, através da medida do campo magnético terrestre, é possível monitorar a direção e a inclinação do aparelho (junto com acelerômetros) e estabilizá-lo automaticamente, se necessário. Também é possível utilizá-lo para medir a rotação de um motor, com um ímã colocado no eixo deste, fazendo a leitura da variação do campo magnético exercido pelo ímã; ou como sensor de posição, onde a presença ou não de um ímã, posicionado em alguma peça ou estrutura, é usado como um parâmetro um circuito externo. Como não é necessário nenhum contato com o ambiente, como é feito com sensores ópticos e chaves, esses sensores se caracterizam por sua extrema durabilidade, pois estando adequadamente selados, são imunes a água, pó e contaminantes.

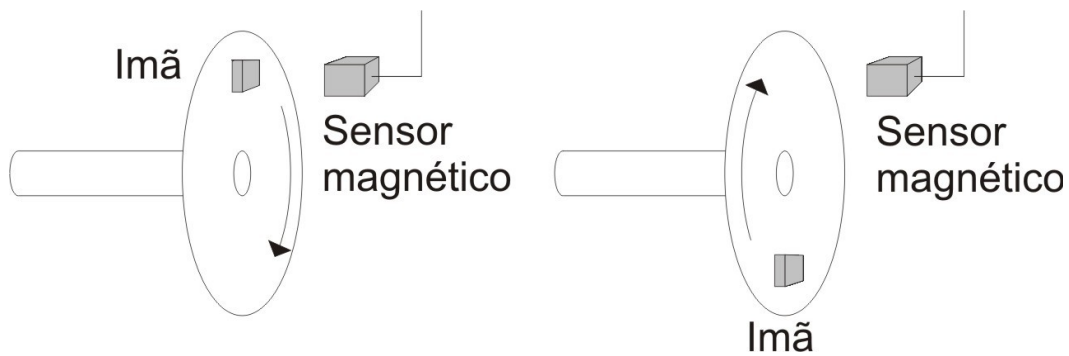


Figura 81: Utilizando um sensor de campo magnético e um ímã para medir rotações.

Dentre outras aplicações deste sensor, podemos citar a medição de correntes elétricas. Um fio que conduz uma corrente elétrica gera um campo magnético ao seu redor. Medindo esse campo através de um sensor de campo magnético, é possível, através das fórmulas que os relacionam, descobrir a corrente conduzida pelo fio. Esse é o método mais seguro para a medição de corrente, pois não há nenhum contato entre o fio condutor e o equipamento de medição, impossibilitando que um circuito interfira no funcionamento do outro e evitando que haja riscos à vida do usuário do equipamento.

Além dessas aplicações, a mais comum de todas é, sem dúvida, a utilização como bússola digital. Medindo a direção do campo magnético terrestre, é possível utilizá-lo para indicar a direção do pólo Norte Magnético terrestre.

Existem dois tipos principais de sensores de campo magnético: os magneto-resistivos e os que baseiam-se no efeito Hall.

Tais sensores consistem basicamente de elementos magneto-resistivos, ou seja, componentes cuja resistência muda de acordo com o campo magnético que incide sobre eles. Tal fenômeno ocorre em alguns materiais ferrosos, e para a aplicação em sensores é utilizada uma liga de Ferro e Níquel. Tais componentes são montados numa configuração chamada ponte de Wheatstone, composta por quatro resistores, formando dois divisores de tensão em paralelo. É aplicada uma tensão alimentando esse circuito e mede-se a diferença da tensão entre os dois divisores de tensão.

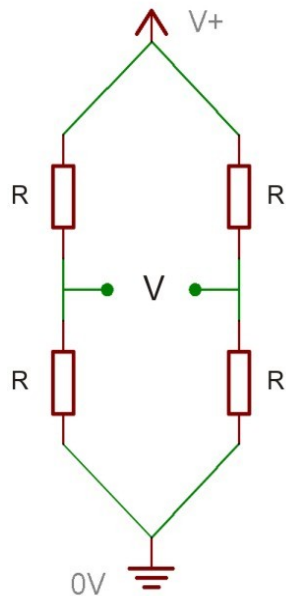


Figura 82: Ponte de Wheatstone.

Quando não há nenhum campo magnético incidindo sobre o circuito, a tensão é zero, pois todos os elementos magneto-resistivos apresentam a mesma resistência. Ou seja, dizemos que a ponte está balanceada. Porém, ao aplicarmos um campo magnético perpendicular a esse circuito, a resistência desses materiais varia e a ponte ficará desbalanceada, surgindo uma tensão entre os dois pontos centrais dos divisores de tensão. Essa diferença poderá ser negativa ou positiva, dependendo do sentido do campo magnético.

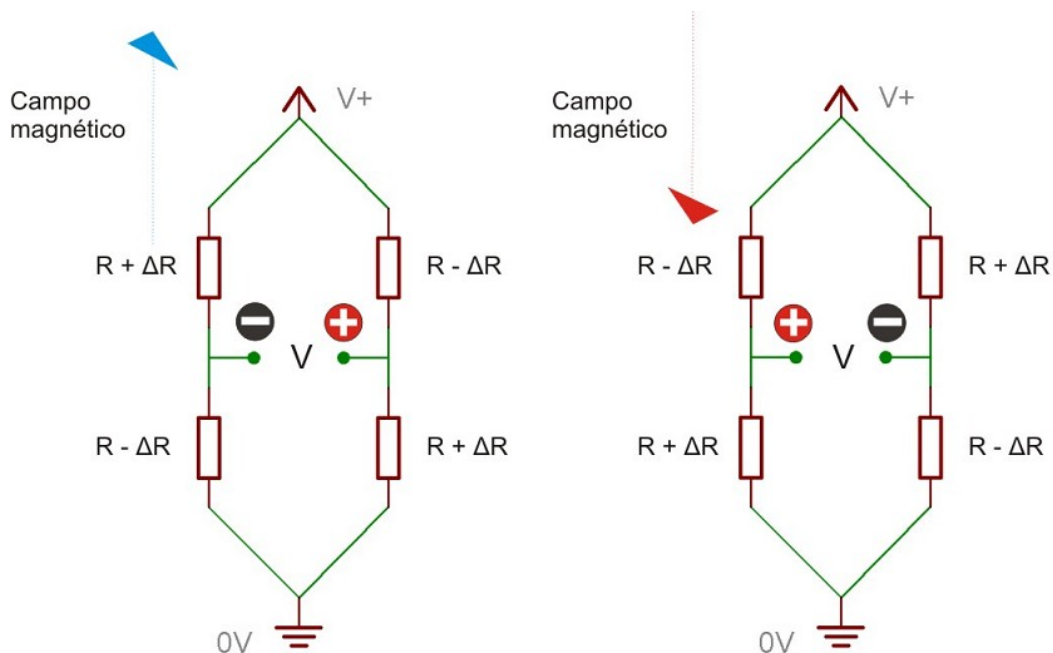


Figura 83: A ponte de Wheatstone feita com magneto-resistores é desbalanceada quando um campo magnético incide sobre ela.

Assim como um acelerômetro, esse sensor mede o campo magnético em determinados eixos, sendo que para cada eixo há uma ponte de Wheatstone composta por elementos magnetoresistivos. Esses são basicamente os únicos elementos do sensor, exceto alguns componentes utilizados para uma possível regulação do sensor.

Existem também os sensores cujo funcionamento é baseado no efeito Hall, presente em alguns materiais condutores e semicondutores. Esse efeito, descoberto no século XIX, baseia-se no princípio de interação entre campos magnéticos e cargas elétricas. Podemos compreendê-lo observando as figuras abaixo.

Quando uma corrente passa por um material condutor, ela distribui-se uniformemente ao longo do material e não há nenhuma diferença de potencial (tensão) entre as laterais do material. Porém, ao aproximarmos um ímã, o campo magnético perturbará a distribuição da corrente ao longo do material. Haverá um acúmulo de cargas negativas (elétrons) em um dos lados do condutor, o que gerará uma tensão entre suas laterais. Se invertermos o sentido do campo magnético, a tensão presente no material também será invertida.

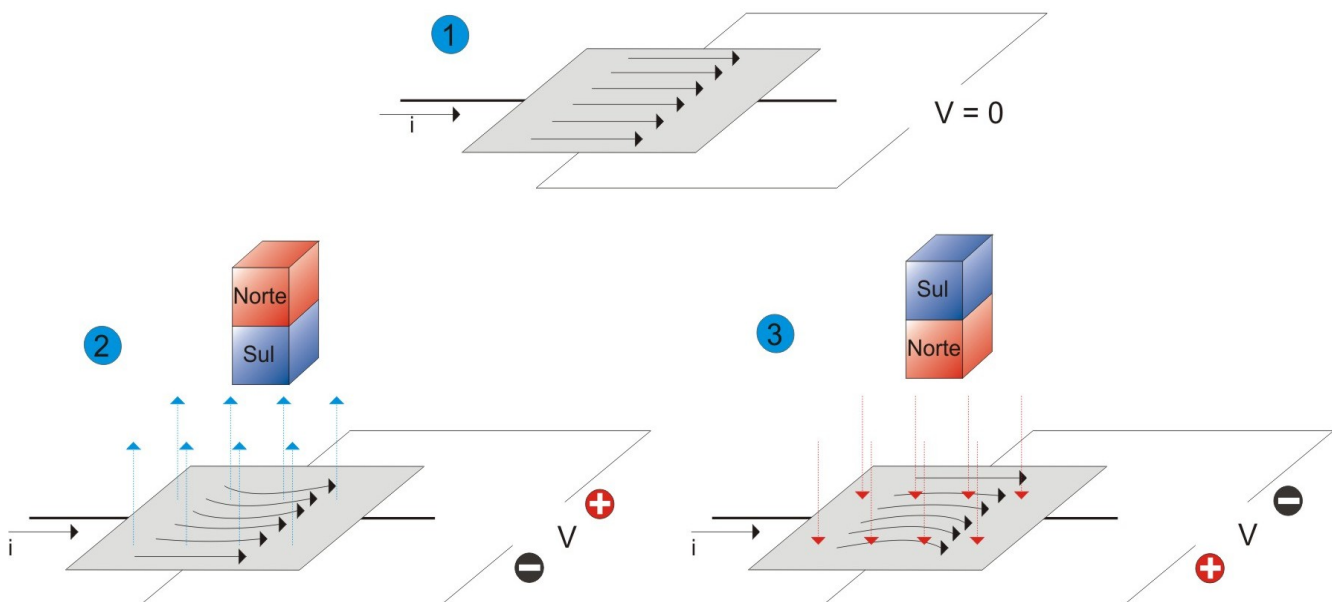


Figura 84: Ilustração do efeito Hall. 1-Como a corrente distribui-se uniformemente pelo condutor, a tensão entre as laterais do condutor é zero. 2-Quando um campo magnético passa pelo condutor, a corrente passa a distribuir-se de modo irregular, surgindo uma tensão entre as laterais do condutor. 3-Invertendo o sentido do campo magnético, a tensão também será invertida.

Essa diferença de tensão é muito pequena, mas se for amplificada, pode ser monitorada por um circuito externo. Essa amplificação já é feita internamente no sensor. A saída desse sensor pode ser analógica ou digital. Os sensores analógicos possuem uma saída correspondente à intensidade do campo magnético que incide sobre eles. Já nos digitais, sua saída estará num nível lógico Alto enquanto não houver um campo magnético. Se o campo magnético ultrapassar certo valor, então a sua saída se encontrará num nível lógico Baixo. Desse modo, os sensores de efeito Hall digitais comportam-se como chaves digitais acionadas por ímãs.

Sensores de efeito Hall são empregados principalmente em indústrias, como sensores de posição, pois são duráveis e práticos. Basta colocar um ímã na estrutura que se deseja controlar o movimento e utilizar um sensor para detectar quanto o ímã aproxima-se do sensor. Eles também são

utilizados em teclados destinados a aplicações onde é necessária uma confiabilidade extrema, como aviões e usinas nucleares. Cada botão do teclado é composto por um ímã e um sensor. Quando o botão é pressionado, o ímã aproxima-se do sensor e é detectado por este.

Os dois tipos de sensores possuem certas diferenças em relação ao seu funcionamento. Em geral, os magneto-resistivos são mais sensíveis e podem detectar ímãs a distâncias maiores. Já os de efeito Hall tem a vantagem de possuírem um maior ângulo de cobertura.

A unidade de medida do campo magnético mais utilizada para aplicações com sensores é o Gauss. Como referência, temos que o campo magnético da Terra é de aproximadamente 0,6 Gauss. O valor detectado pelo sensor depende da direção do campo magnético que incide sobre ele. Quando o sensor não detecta a presença de nenhum ímã, teremos em sua saída uma tensão de repouso. Ao aproximarmos o pólo Norte de um ímã ao sensor, teremos um sinal de saída correspondente ao campo magnético que incide sobre o sensor. Mas se invertermos os pólos do ímã, a saída do sensor também mudará. Porém, a diferença entre o sinal de saída e a tensão de repouso nos dois casos será a mesma.

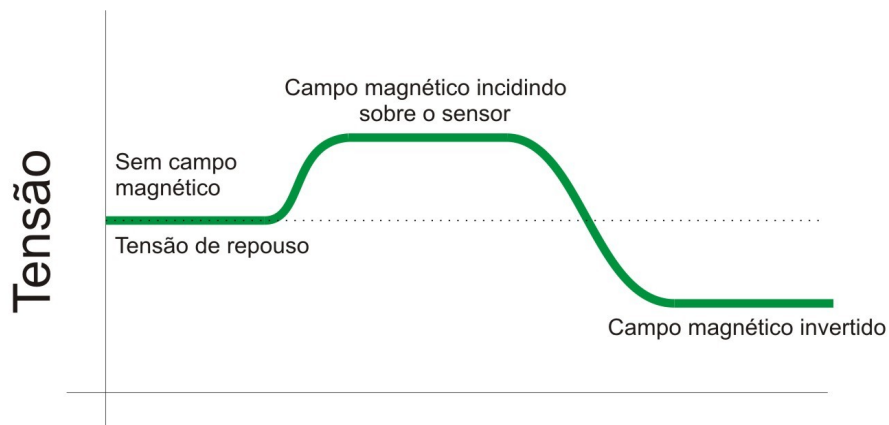


Figura 85: Saída do sensor de acordo com o campo magnético que incide sobre ele. Observe que para campos iguais mas invertidos, a diferença entre a tensão de saída e a tensão de repouso é a mesma.

Cada sensor utilizado possui algumas características próprias, como temperatura de operação ideal, ângulo de alcance, sensibilidade e faixa de leitura. Além disso, ele deve ser alimentado adequadamente e ter seus pinos ligados de modo correto.

Podemos então utilizar esse sensor com um circuito analógico ou ligando-o a um circuito digital como o Kit, por exemplo. Antes de ligar o sensor de campo magnético, devemos nos certificar da tensão de alimentação do componente e providenciá-la. Ao utilizar com o Kit um sensor que suporte 5V, podemos alimentá-lo através das saídas disponíveis nos conectores de sensores genéricos.

4 – Sensores Digitais

Como já foi mencionado anteriormente, os sensores digitais diferem dos analógicos pelo fato de que eles possuem dois níveis de tensão bem definidos, chamados de Alto (“High”) ou Baixo (“Low”), ou apenas 1 e 0. Esses níveis de tensão também são chamados de níveis lógicos.

Tais níveis de tensão devem ser bem definidos. Utilizamos como padrão um nível lógico Alto uma tensão de 5 V (ou próxima) e um nível lógico baixo uma tensão de aproximadamente 0 V, portanto, compatíveis com a maioria dos circuitos digitais, embora alguns circuitos operem com tensões maiores ou menores. É importante que esses níveis de tensão não sejam maiores do que 5 V ou menores do que 0 V, que são as tensões de alimentação desses circuitos, pois eles poderão ser danificados. Também é recomendado que eles sejam próximos desses valores limites, pois valores intermediários, como 2 ou 3 V, por exemplo, podem causar certa confusão a sistemas digitais.

No caso de utilizar circuitos alimentados com tensões diferentes, o nível Alto geralmente corresponde a uma tensão igual à de alimentação, enquanto que o nível Baixo é igual a 0 V. Porém, para evitar problemas, sempre confira as especificações.

Tensões de circuitos digitais TTL

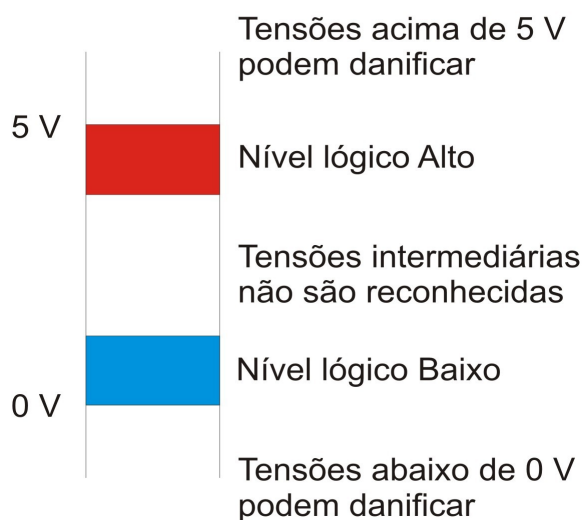


Figura 86: Níveis lógicos e tensões de circuitos digitais TTL.

Um sensor digital simples é aquele possui apenas duas respostas distintas. Por exemplo, ao utilizarmos uma chave magnética para monitorar uma porta, ela apenas vai indicar que a porta está fechada ou não, tendo em sua saída um nível de tensão alto ou baixo. Ela não será capaz de informar se a porta está apenas encostada, ou o quanto ela se encontra aberta. Nesse caso dizemos que tanto o funcionamento como a resposta do sensor é digital.

No exemplo acima, temos apenas um sensor, que pode alternar entre dois estados. Mas se utilizássemos dois sensores iguais, em locais distintos, o que aconteceria? Temos dois sensores que podem, cada um, alternar entre dois estados diferentes. Nesse caso, poderemos ter quatro possibilidades.

E se tivéssemos três sensores? Nesse caso, teremos oito estados. Esse é um exemplo prático de lógica binária. Note que, para cada sensor adicionado, dobramos o número de estados possíveis. Como cada sensor pode alternar entre dois estados, ao combiná-los, devemos multiplicar o número de estados possíveis de cada um.

$$2 \text{ sensores} = 2 \cdot 2 = 2^2 = 4 \text{ possibilidades}$$

$$3 \text{ sensores} = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 2^3 = 8 \text{ possibilidades}$$

Porém, sensores digitais mais complexos podem alternar entre mais respostas diferentes enviando valores binários mais complexos, informando a temperatura do ambiente, por exemplo. Alguns desses sensores geram como resposta um sinal analógico, que internamente é convertido num valor binário, antes de ser enviado para algum outro sistema.

Além do fato de que os sensores digitais utilizam apenas duas tensões distintas, uma outra diferença entre sensores digitais mais complexos e seus equivalentes analógicos é que, embora eles também possam enviar vários valores distintos, sempre haverá um valor intermediário mínimo entre eles. Por isso dizemos que um sensor digital avança em “degraus”.

Enquanto que podemos verificar o estado de sensores analógicos e sensores digitais simples apenas verificando a sua tensão de saída, os sensores digitais mais complexos respondem de maneira mais elaborada. Isso porque eles utilizam certos modos de comunicação específicos, enviando sinais via Serial, PWM, dentre outras formas.

Vamos agora detalhar os sensores digitais e como podemos utilizá-los.

Chaves digitais

As chaves digitais são os sensores digitais mais simples. O seu funcionamento é puramente digital, pois indicam se estão pressionadas ou não. Podemos encontrá-las em diversos equipamentos eletrônicos, como calculadoras, celulares, TVs ou nos próprios teclados e mouses de computadores, funcionando como dispositivos de entrada de informações. Ao pressionar o botão Stop do CD player, por exemplo, você está informando ao módulo de controle que deseja que o CD seja parado. Ou seja, a chave está atuando apenas como um meio de entrada de informações. Podemos utilizá-las em outras funções, seguindo este mesmo princípio. Por exemplo, uma chave pode ser utilizada para informar que um objeto já finalizou o seu trajeto e o motor que o movimenta pode ser desligado.

Uma chave encontra-se fechada quando permite a passagem de uma corrente elétrica. Quando abrimos a chave, impedimos que a corrente elétrica continue a fluir através da chave.

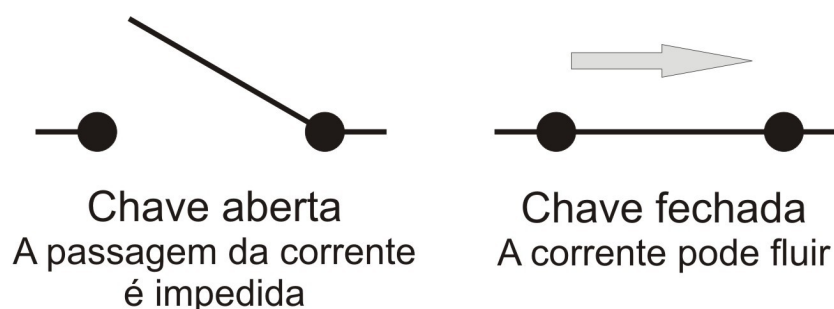


Figura 87: Funcionamento das chaves.

Como podemos ver na figura abaixo, existem vários tipos distintos de chaves que podem ser utilizadas com essa finalidade. Porém, alguns modelos de chaves possuem aplicações mais interessantes, as quais entraremos em mais detalhes.



Figura 88: Chaves variadas.

As chaves DIP são conjuntos de pequenas chaves, montadas num invólucro semelhante ao de circuitos integrados (DIP). Sua maior vantagem é a fácil montagem numa matriz de contatos, sendo que suas dimensões são reduzidas e seus pinos encaixam-se perfeitamente. Cada chave é montada lado a lado e seus contatos encontram-se claramente posicionados no corpo do componente. Elas são encontradas em versões que possuem de uma a 16 chaves. Algumas chaves DIP possuem a palavra ON escrita em algum dos seus lados, indicando a posição em que as chaves encontram-se fechadas.

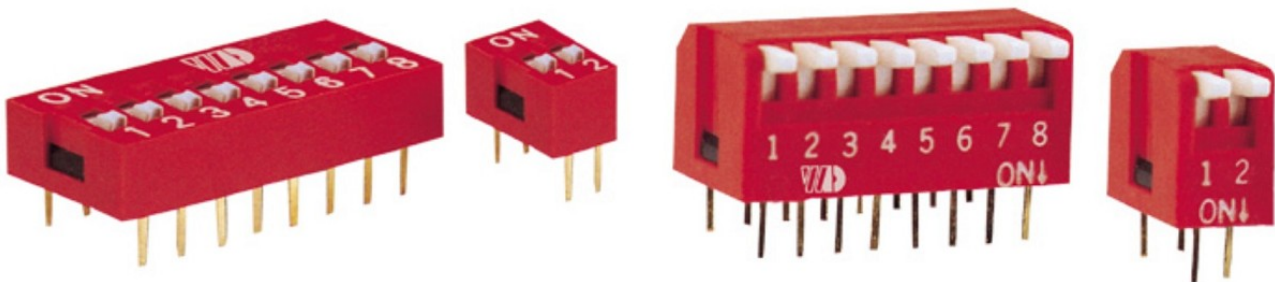


Figura 89: Chaves DIP.

As chaves “tact-switch” são pequenas chaves encontradas em diversos equipamentos eletrônicos. Embora sejam um pouco maiores, também podem ser facilmente montados numa matriz de contatos. Apesar de possuírem 4 terminais, são chaves simples, que possuem apenas um contato. Como pode-se observar na ilustração abaixo, elas são formadas por duas tiras de metal, e entre elas há um botão. Ao pressionarmos o botão, as duas tiras de metal entram em contato e conduzem a corrente elétrica. Essa chave é o modelo utilizado no teclado do KDR 5000.

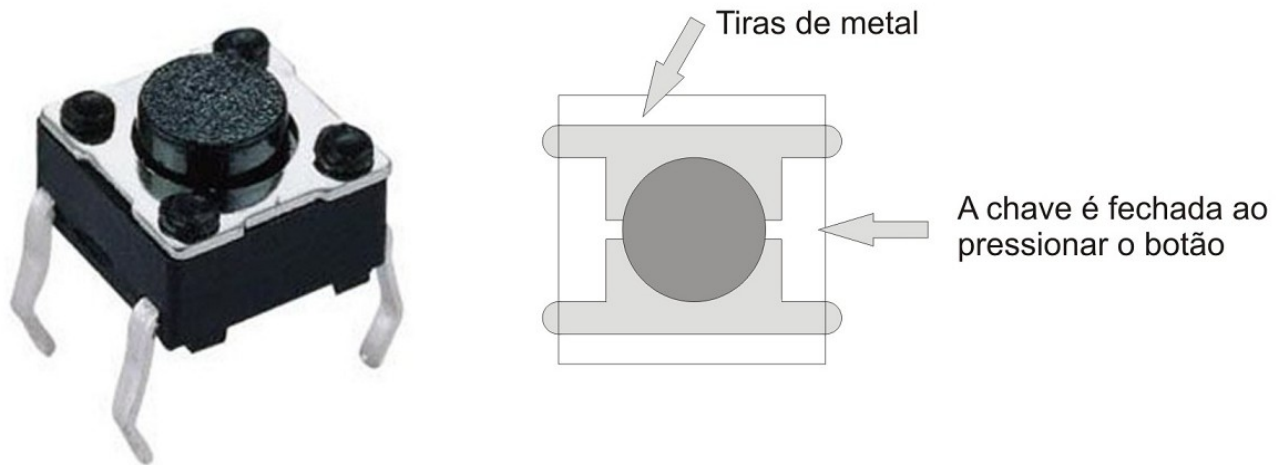


Figura 90: Chave "tact-switch" e seu esquema interno.

Outras chaves interessantes são as chaves de “fim-de-curso”. São chaves que possuem uma haste longa e podem ser acionadas sem a necessidade de se fazer muita força, o que facilita o seu uso como sensor de posição. Porém, suas dimensões dificultam o uso numa matriz de contatos, sendo que para utilizá-las devemos soldar fios aos seus terminais.

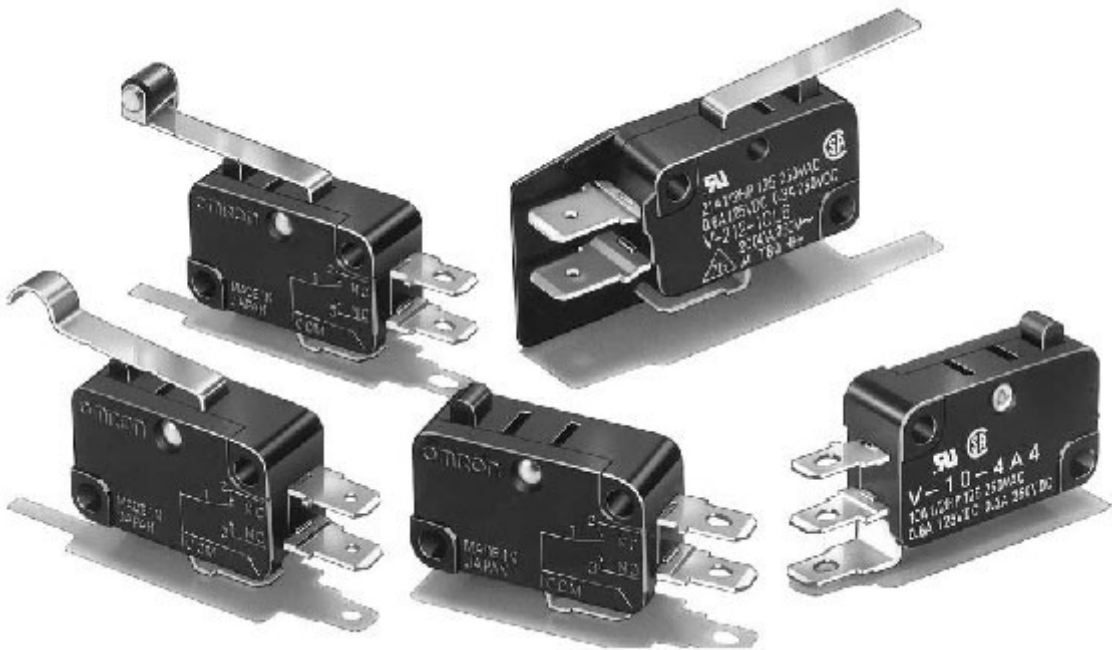


Figura 91: Chaves "fim-de-curso".

Outro detalhe importante é a presença ou não de trava. Uma chave com trava é aquela que, quando pressionada, permanece fechada ou aberta até que seja pressionada novamente. Um exemplo de chave com trava são as chaves Liga/Desliga comuns.

Já as chaves sem trava possuem um estado normal de operação (fechado ou aberto). Quando pressionadas, elas mudam de estado, mas ao soltá-las, elas voltam ao seu estado normal. Os botões

de mouses e teclados são chaves sem travas. Quando pressionamos um botão do teclado, não precisamos pressioná-lo novamente, basta soltá-lo para que ele volte ao seu estado normal.

Ao utilizar uma chave como sensor digital, ela deverá alternar entre os dois níveis de tensão, Alto (1) e Baixo (0). O estado alto será uma tensão de 5 V, compatível com a maioria dos circuitos digitais, enquanto que o nível Baixo será o 0 V. Podemos ligar a chave de duas formas: com resistor de “*pull-up*” ou com resistor de “*pull-down*”. Porém, detalharemos apenas a forma *pull-up*, que é a mais simples e segura de todas, pois há menores chances de ocorrer algum problema relacionado a correntes excessivas.

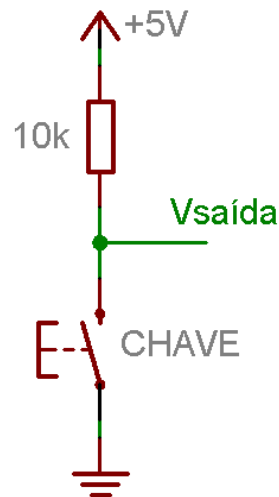


Figura 92: Chave ligada com resistor *pull-up*.

Com resistor de *pull-up*, quando a chave está aberta, a saída é ligada à tensão de alimentação através de um resistor, de modo que temos um nível Alto na saída do circuito. A corrente que flui pelo resistor vai para a saída do circuito. Quando a chave for fechada, temos na saída um nível lógico Baixo (0 V), já que a saída do circuito será ligada diretamente ao 0 V. A corrente que flui pelo resistor vai diretamente para o 0 V.

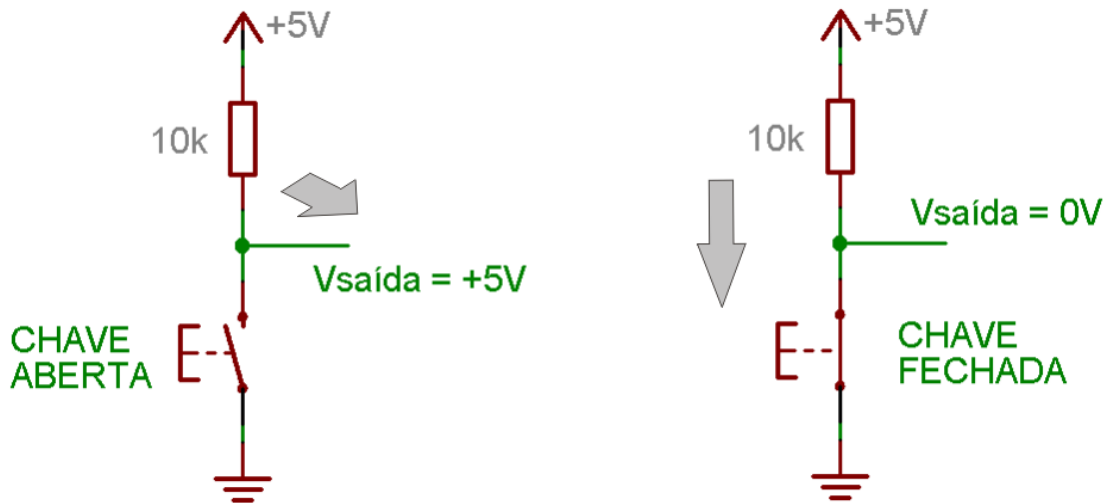


Figura 93: Utilizando chaves digitais. As setas indicam o sentido da corrente elétrica que passa pelo resistor.

É importante que o resistor a ser utilizado seja de um valor alto, de modo que a corrente de saída do circuito seja baixa, já que circuitos digitais são sensíveis a correntes elétricas e podem ser facilmente danificados. No circuito acima, que utilizamos um resistor de 10 kΩ, vamos verificar a corrente de saída.

$$V = R \cdot I$$

$$5 \text{ V} = 10000 \text{ } \Omega \cdot I$$

$$I = \frac{5 \text{ V}}{10000 \text{ } \Omega}$$

$$I = 0,0005 \text{ A}$$

Temos então na saída do circuito uma corrente de 0,5 mA, uma corrente que não causará dano a nenhum circuito. Utilize sempre um resistor de valor próximo ou até mesmo superior a 10 kΩ, para garantir que não haja nenhum problema com o seu circuito.

Como as chaves não são mecanismos perfeitos, podem ocorrer alguns problemas durante sua utilização. O problema mais frequente é o mal-contato que pode ocorrer ao acioná-las. Quando fechamos uma chave, os seus contatos não se conectam imediatamente. Pode haver um leve mal-contato logo após fechá-la, o que faz com que a saída do circuito fique instável durante um breve momento. Isso pode ser facilmente resolvido com a utilização de um capacitor, ligado entre a saída do circuito e o 0 V da alimentação.

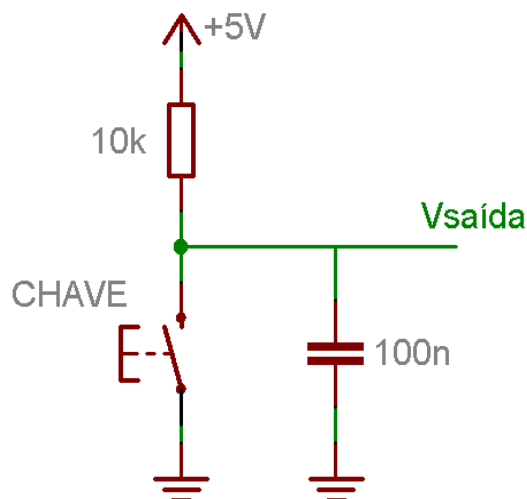


Figura 94: Chave digital com capacitor.

Esse procedimento não é obrigatório, mas em alguns circuitos eletrônicos ele pode ser necessário. Quando fechamos a chave, o capacitor será descarregado. Se, devido a um mal-contato, a chave reabrir por um breve instante, a tensão voltará a 5 V. Porém, o capacitor estará sendo carregado, evitando que a tensão suba imediatamente.

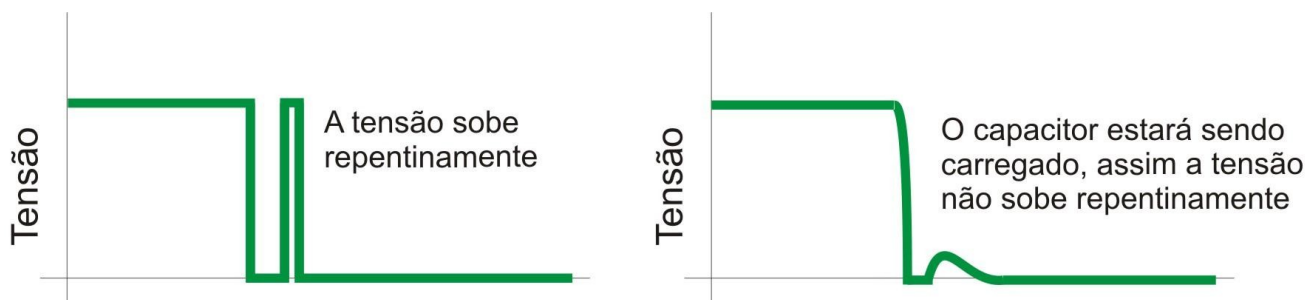


Figura 95: O mal-contato que pode ocorrer com a chave é aliviado pelo capacitor.

Utilizando o circuito descrito acima, podemos utilizar as chaves em uma grande variedade de circuitos digitais, como portas lógicas, contadores, microcontroladores, dentre outros, bastando tomar cuidado para não montá-la de modo incorreto. De acordo com o circuito utilizado, a tensão de alimentação poderá ser diferente, portanto utilize a tensão adequada para o circuito.

Para conectar as chaves digitais ao Kit, podemos utilizar tanto os conectores de Entradas Digitais do *Módulo de Entradas, Saídas e Servo-motores*, quanto a Entrada Digital presente nos conectores de Sensores do *Módulo de Sensores Genérico*. Os circuitos podem ser alimentados com as tensões fornecidas nesses conectores. O esquema abaixo mostra como podemos ligar um conjunto de 8 chaves a um conector de Entradas Digitais.

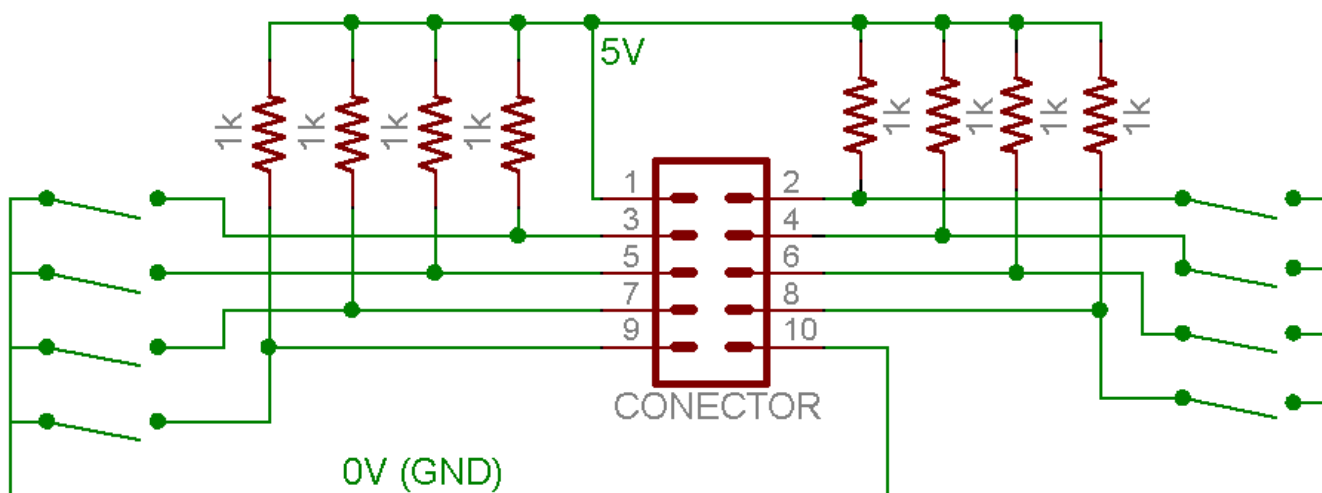


Figura 96: Ligando as chaves digitais ao conector de Entradas Digitais do Kit.

Chave magnética



Figura 97: Chave magnética

Uma chave magnética (também conhecida como “reed switch”) nada mais é do que uma chave digital, só que acionada por um ímã. Tratam-se de dois contatos de metal que no estado normal mantêm-se em aberto. Porém, na presença de um campo magnético, os contatos se fecham, podendo conduzir a corrente elétrica. Os contatos estão dentro de uma cápsula de vidro, mantendo-se isolados da corrosão atmosférica.

Chave magnética aberta

Chave magnética fechada

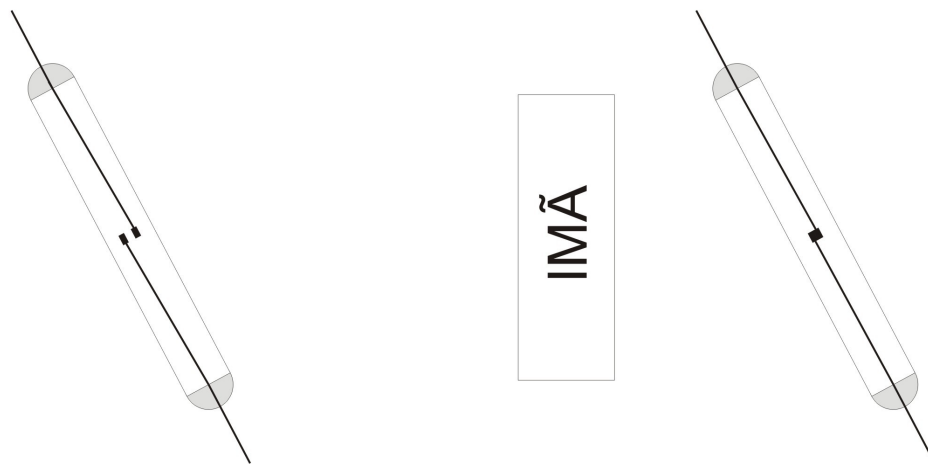


Figura 98: Funcionamento da chave magnética.

O exemplo mais comum de aplicação de chaves magnéticas é em sistemas de alarme. Esses componentes são posicionados em batentes de portas e janelas. Um ímã é colocado na porta de modo que quando ela está fechada, a chave também esteja. Porém, se a porta for aberta, o ímã consequentemente se afastará da chave, que se abrirá. Se o alarme estiver acionado, então ele será disparado.

A chave magnética é um componente relativamente frágil, portanto são necessários alguns cuidados durante a sua utilização. Caso for necessário dobrar seus terminais, para montá-la numa placa de circuito impresso, faça-o a certa distância da sua cápsula. Se todo o terminal do componente for dobrado, ele poderá ser danificado.

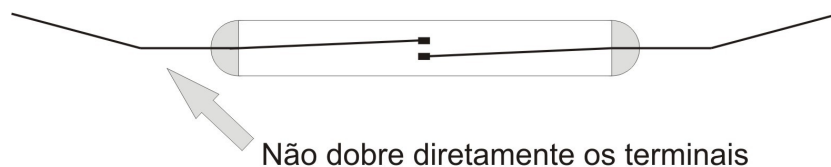


Figura 99: Modo correto de dobrar os terminais da chave magnética.

A chave magnética pode ser utilizada com o mesmo circuito destinado às chaves digitais. A sua conexão a um circuito digital ou ao Kit também pode ser feita da mesma forma.

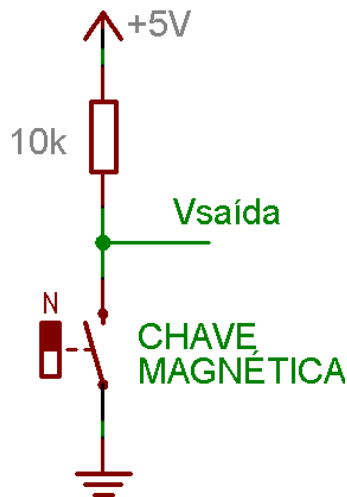


Figura 100: Chave magnética ligada com resistor de pull-up.

Deste modo, podemos utilizar a chave magnética em qualquer circuito. Enquanto a chave magnética estiver aberta, haverá uma tensão de 5 V na saída. Se aproximarmos um ímã da chave, ela será fechada, e então a tensão de saída do circuito cairá para 0 V. Porém, assim como as chaves comuns, podem ocorrer algum mal-contato durante sua utilização. Para solucionar esse problema, podemos também utilizar um capacitor para estabilizar a tensão.

Par óptico

O par óptico é um conjunto formado por dois componentes: um LED emissor de infravermelho e um fototransistor. Apesar de não ser tão comum, este conjunto é aplicado em mais situações do que se possa imaginar e encontra-se presente no nosso cotidiano. Eles são aplicados na transmissão de dados sem fio, no isolamento entre circuitos elétricos e como sensores de posição.

Os controles remotos (de TV, DVD, etc.) ou os teclados e mouses sem fio utilizam um LED, que envia os dados na forma de luz infravermelha. Os sinais enviados pelo LED são captados por um fototransistor e depois processados por algum outro circuito eletrônico, que realiza as operações de acordo com o sinal recebido.

A sua aplicação para isolamento entre circuitos elétricos baseia-se no princípio acima, só que ao invés de ser destinado para a comunicação entre dois aparelhos distantes um do outro, isso ocorre dentro de um mesmo circuito. Como não há contato elétrico entre o emissor e o receptor, então os dois circuitos encontram-se isolados eletricamente. Nesse caso, o LED e o fototransistor são montados num único componente, que tem o formato de um circuito integrado e é chamado de isolador ou acoplador óptico.

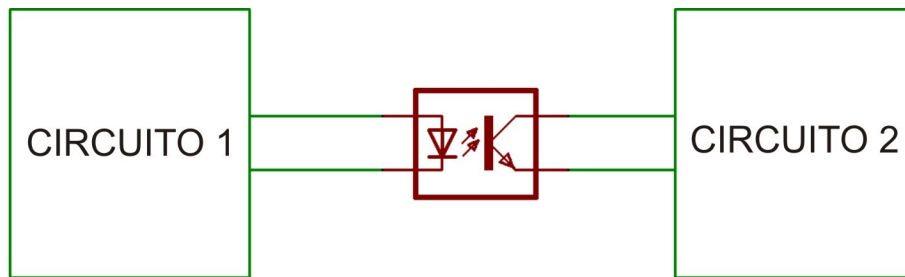


Figura 101: Isolamento realizado pelo acoplador óptico.

Os pares ópticos também podem ser utilizados como sensores de posição. Nessa função, um par óptico se comporta como uma chave, porém acionada por luz infravermelha. Encontramos pares ópticos com essa função em diversos equipamentos. Eles são utilizados para verificar a presença de um disquete no computador ou se há papel disponível numa impressora. Também são muito utilizados em sistemas de alarme. Os pares ópticos são montados em algum lugar que se deseja monitorar, sendo o emissor colocado a certa distância do receptor. Caso o feixe de luz infravermelha seja interrompido, o alarme é acionado.

Encontramos os pares ópticos em diversos formatos, de acordo com as aplicações. Para o uso como sensores de posição em equipamentos eletrônicos, podemos encontrar o LED e o fototransistor montados em um único componente, com um sulco entre eles. Podemos também encontrar os dois componentes separados, sendo necessário montá-los de modo a poderem ser utilizados como chaves ópticas.



Figura 102: Pares ópticos. 1-Par óptico montado em uma única peça. 2-LED emissor de infravermelho. 3-Fototransistor.

O LED emissor de infravermelho possui todas as características de um LED comum, sendo a única diferença o fato de que ele emite uma luz que não é visível ao ser humano. A queda de tensão de um LED infravermelho é menor do que a de outros tipos, sendo de aproximadamente 1,2 V. O fototransistor é um transistor que, ao invés de ser acionado pela corrente presente em seu terminal Base, é acionado pela luz que incide sobre ele. Portanto, ele não possui esse terminal, possuindo geralmente um formato muito semelhante ao de um LED. O símbolo desses componentes

e suas pinagens encontram-se na figura abaixo. A pinagem do fototransistor, embora a mostrada abaixo seja a mais comum, pode variar de acordo com o modelo utilizado, portanto, se possível, cheque as especificações do componente.

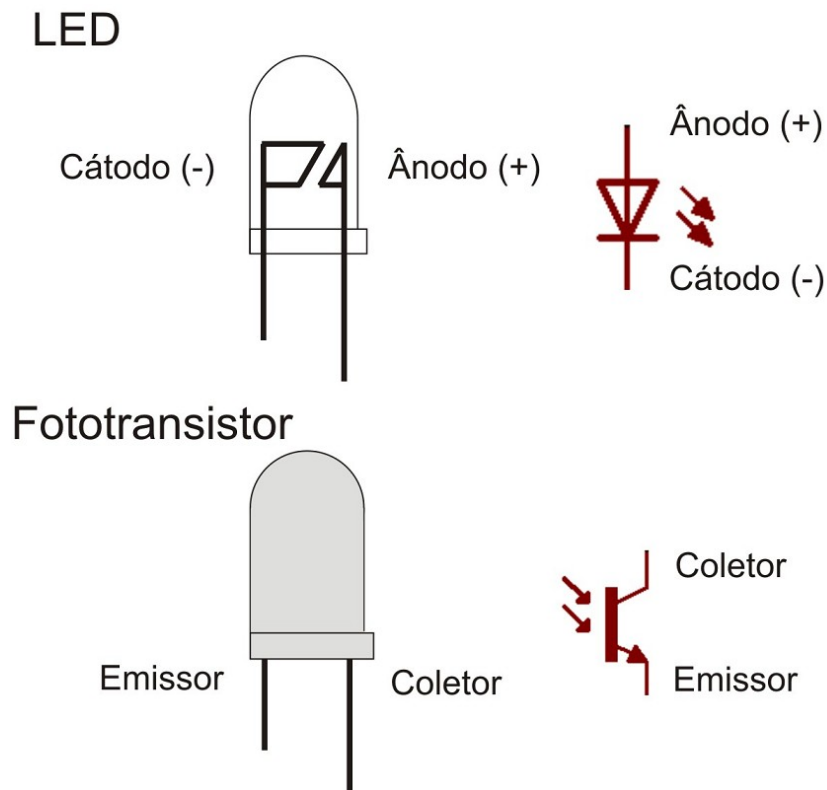


Figura 103: Pinagem e símbolos do LED e do fototransistor.

Ao utilizar o par óptico no modelo que agrega os dois componentes numa peça só, este apresentará 4 terminais. O LED e o fototransistor encontram-se voltados um para o outro. Um pequeno corte numa das peças indica qual delas é o LED emissor. Preste muita atenção, pois este corte é pequeno e pode estar localizado em apenas um dos cantos da peça ou ao longo de uma lateral. Alguns modelos também indicam o LED pintando a sua parte superior numa cor mais clara do que o resto do corpo. A pinagem mais comum desse componente encontra-se abaixo, embora possam haver algumas ligeiras mudanças, de acordo com o modelo utilizado.

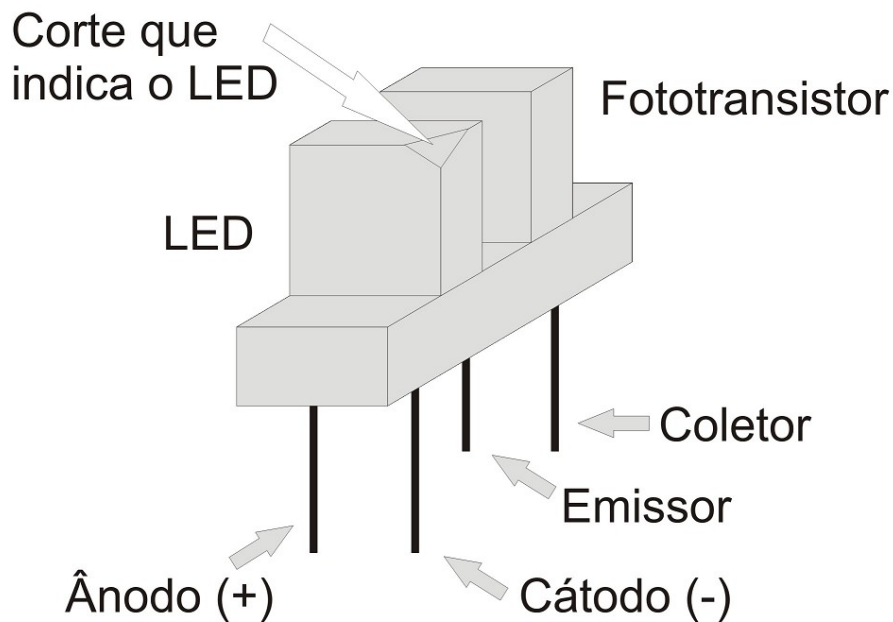


Figura 104: Pinagem do par óptico em peça única.

Para acionar o LED infravermelho, o ideal é alimentá-lo com uma corrente um pouco alta, de modo que o alcance da chave óptica seja maior. Vamos calcular o resistor a ser ligado em série para que, com uma alimentação de 5 V, tenhamos uma corrente de 20 mA através do LED, lembrando-se de que há uma queda de tensão de 1,2 V neste último.

$$\begin{aligned}
 V &= R \cdot I \\
 5\text{ V} - 1,2\text{ V} &= R \cdot 0,020\text{ A} \\
 R &= \frac{3,8\text{ V}}{0,020\text{ A}} \\
 R &= 190\ \Omega
 \end{aligned}$$

O valor encontrado é próximo de 220 Ω , que é um valor comercial padrão. Além disso, esse valor se enquadra na tolerância do componente, que geralmente é de 5% ou 10% acima ou abaixo do valor indicado.

Para utilizar o par óptico como um sensor de posição, seguiremos o mesmo princípio das chaves digitais e utilizaremos um circuito semelhante. O fototransistor será considerado nossa “chave”. Quando a luz emitida pelo LED estiver incidindo sobre o fototransistor, ele será “fechado” e conduzirá uma corrente elétrica, sendo que a saída do circuito terá um nível lógico Baixo. Porém, se o feixe de luz for barrado por algum material ou se o LED for apontado para alguma direção ou até mesmo desligado, o fototransistor deixará de conduzir e teremos na saída um nível de tensão Alto.

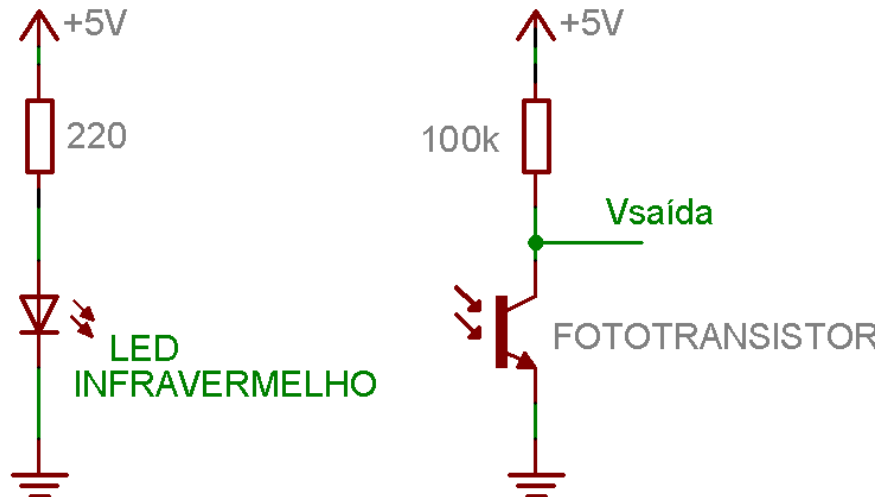


Figura 105: Circuito para a utilização do par óptico.

O circuito foi elaborado de modo que o fototransistor opera em, basicamente, apenas dois modos distintos de acordo com a luz que incide sobre ele: ligado (como uma chave fechada) ou desligado (em aberto), havendo na saída, portanto, dois níveis de tensão possíveis.

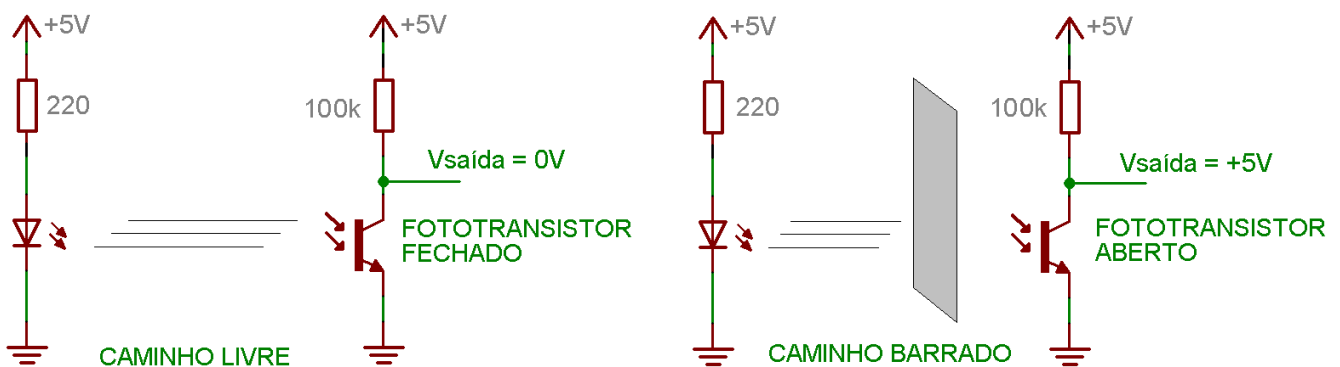


Figura 106: Funcionamento do par óptico.

É importante lembrar que, para o melhor funcionamento desse circuito, devemos colocar o fototransistor de modo que ele não fique exposto diretamente à luz do Sol. A luz do ambiente pode fazer com que o fototransistor seja acionado, mesmo que o LED não esteja apontado para ele. Caso seja notado que ainda há problemas referentes à interferência da luz ambiente, é possível diminuir a sensibilidade do fototransistor, bastando para isso reduzir o valor do resistor R1.

Podemos então aplicar a saída desse circuito em algum circuito digital, de modo a aproveitar as funcionalidades de um par óptico. Para ligarmos ao Kit, podemos utilizar, assim como as chaves digitais, os conectores de Entradas Digitais do *Módulo de Entradas, Saídas e Servo-motores*, ou a Entrada Digital presente nos conectores de Sensores do *Módulo de Sensores Genérico*. O par óptico pode ser alimentado com a tensão de 5 V presente nesses conectores.

O par óptico pode então ser utilizado em variadas aplicações. Podemos utilizá-lo para controlar o volume de um líquido em um tanque, por exemplo. Colocando um LED e um fototransistor em laterais diferentes do tanque, estando um apontado para o outro e protegidos contra o líquido, podemos verificar quando o nível do líquido ultrapassa certo nível e, se necessário, abrir uma válvula de escape.

Utilizando dois pares ópticos (ou até mais), é possível medir a velocidade de um objeto móvel. Colocamos os componentes ao longo da trajetória do objeto, de modo que ele interfira na passagem da luz, a uma distância conhecida um do outro. Devemos fazer com que quando o objeto passar pelo primeiro par óptico, seja acionado um timer (que pode ser implementado em um programa), que será desligado quando o objeto passar pelo segundo par óptico. Já que temos a distância entre os pares ópticos e o tempo que o objeto levou para percorrer essa distância, podemos calcular a sua velocidade.

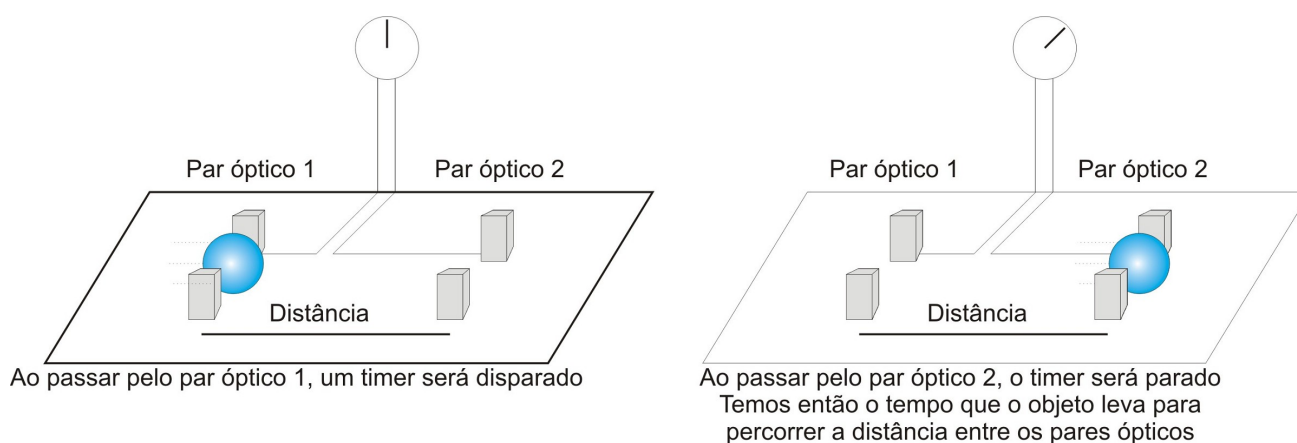


Figura 107: Utilizando o par óptico para medir a velocidade de um corpo.

5 – Conectando os Sensores ao Kit

O primeiro passo para utilizar os sensores e analisar os dados através do Kit, é definir onde eles serão conectados. As portas destinadas ao uso de sensores estão disponíveis no MEC1000 e no *Módulo de Sensores Genérico* e no *Módulo de Entradas, Saídas e Servo-motores* do KDR5000.

Conexão dos sensores analógicos

Para conectar os sensores analógicos, temos a nossa disposição 6 entradas analógicas presentes nos 2 conectores de Sensores no MEC1000 e 12 entradas analógicas nos 4 conectores de Sensores do *Módulo de Sensores Genérico* do KDR5000.

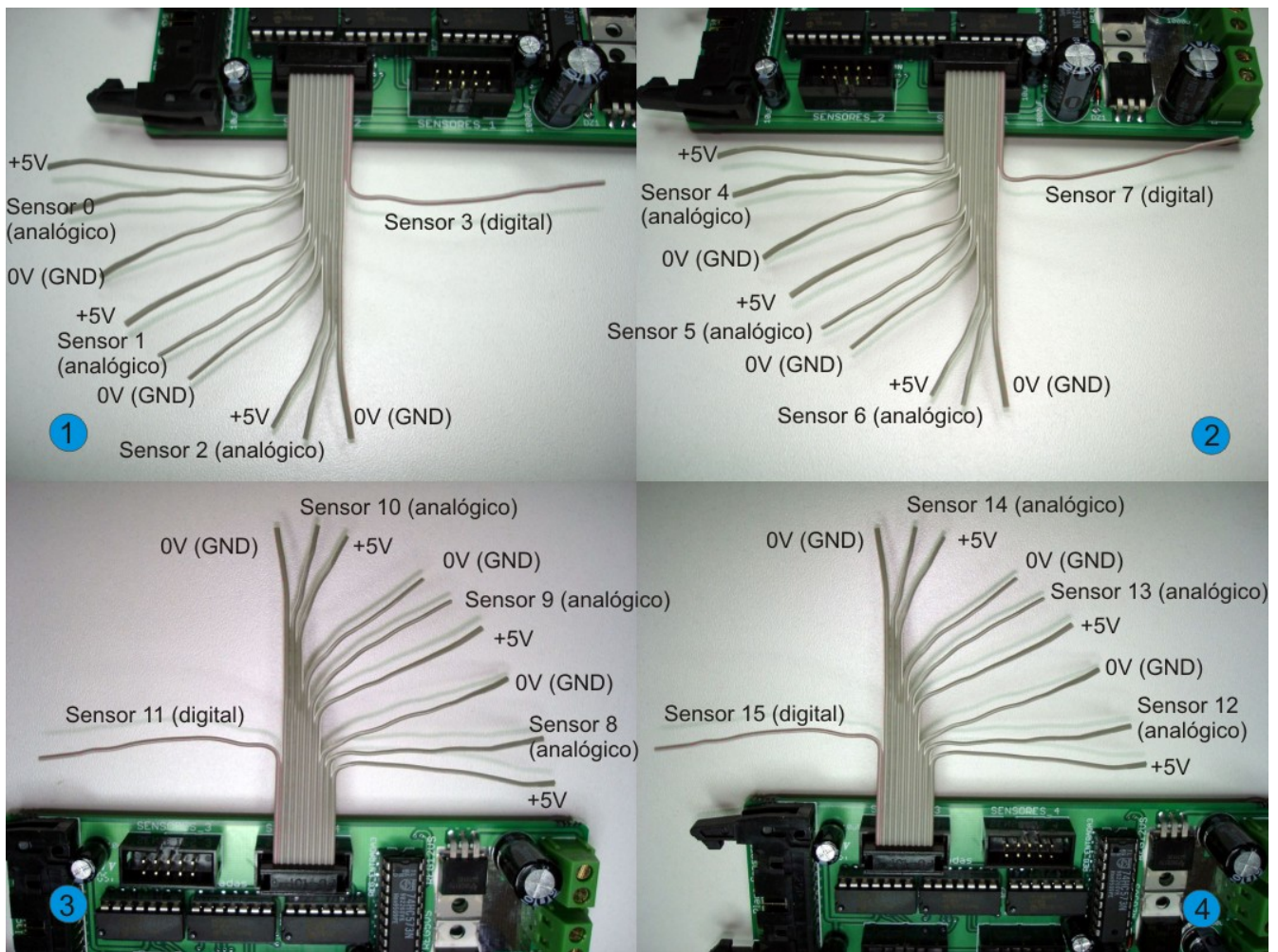


Figura 108: Conectores de sensores disponíveis no Módulo de Sensores Genérico do KDR5000. 1-Entrada genérica 0. 2-Entrada genérica 1. 3-Entrada genérica 2. 4-Entrada genérica 3.

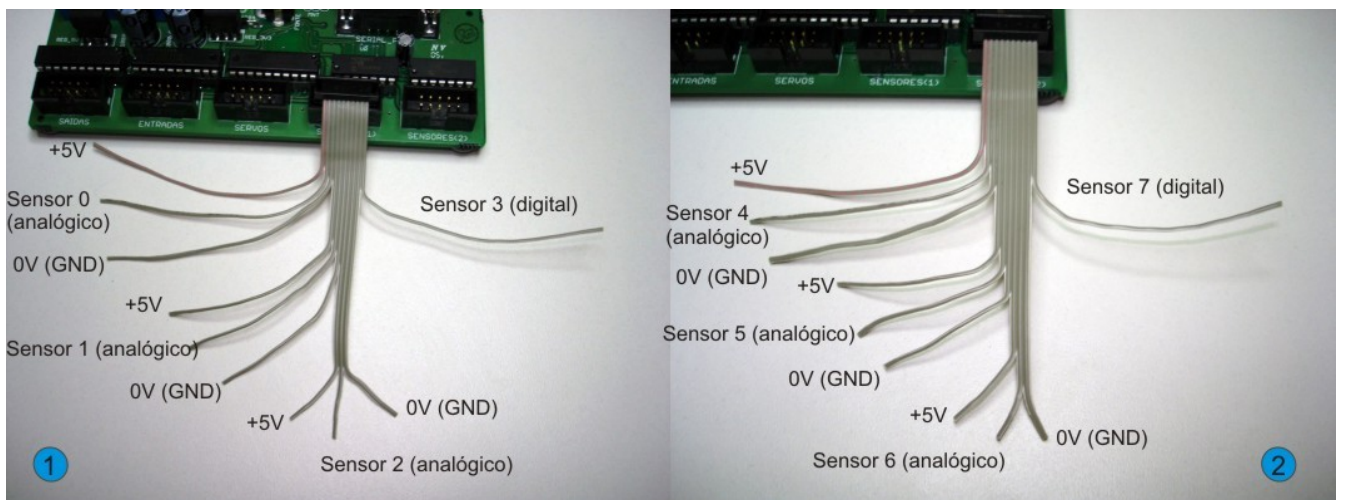


Figura 109: Conectores de sensores disponíveis no MEC1000. 1-Entrada genérica 0. 2-Entrada genérica 1.

Cada entrada analógica suporta tensões entre 0 e 5 Volts. Caso um sinal proveniente de um sensor esteja fora desse limite, ele não poderá ser aplicado diretamente à entrada, pois poderá danificar o Kit. A adequação do sinal poderá ser feita através de um divisor de tensão ou de um diodo Zener, seguindo as instruções dadas anteriormente. A corrente de saída do sensor também deve possuir um valor baixo, para não danificar as entradas analógicas.

O sinal analógico a ser aplicado nessas entradas será posteriormente convertido num sinal digital, de modo a possibilitar a sua análise e armazenamento. Isso será realizado pelos conversores analógico-digital (A/D) presentes no microcontrolador do MEC1000 e do KDR5000. Esses conversores “lêem” a tensão presente na sua entrada e atribuem a esse valor um número binário. Esse valor binário apresenta um número limitado de bits, que indica a resolução do conversor A/D.

Para exemplificar o funcionamento de um conversor A/D, mostramos na figura abaixo a conversão realizada por um modelo com resolução de 3 bits. Com essa resolução, ele é capaz de gerar apenas 8 valores binários distintos correspondentes à tensão em sua entrada, de 000 a 111 (cujo valor em decimal é 7).



Para cada valor de tensão, é atribuído um valor binário

Figura 110: Exemplo de conversão A/D.

O conversor A/D presente no Kit possui uma resolução de 10 bits, ou seja, ele pode gerar números binários de até 10 bits. Sendo assim, uma tensão de 5 Volts na entrada, que é o valor máximo lido pelo conversor, terá como correspondente o número binário 1111111111, cujo valor em decimal é 1023. Já uma tensão de 0 Volt, que é o valor mínimo, será equivalente ao número binário 0000000000, que em decimal é 0.

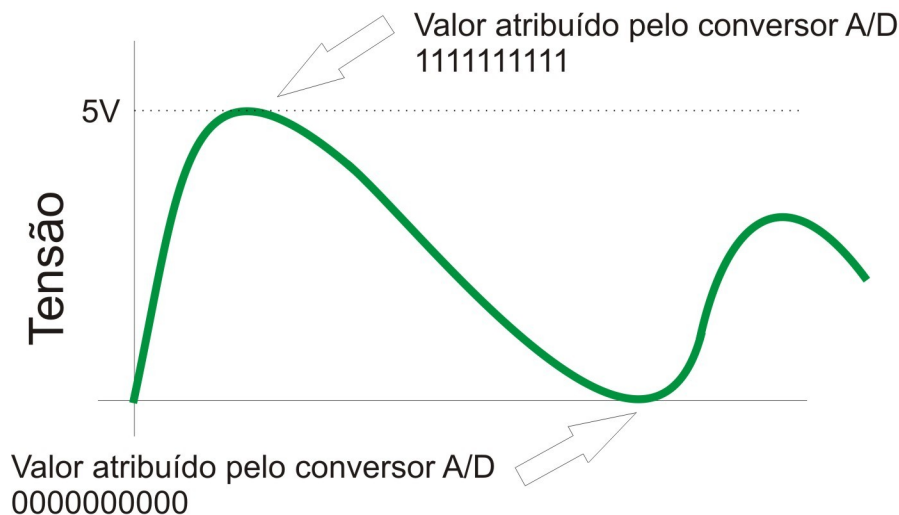


Figura 111: Conversão A/D realizada pelo Kit.

Ou seja, entre 0 V e 5 V, existem 1024 valores de leitura possíveis. O Kit poderá então interpretar variações de aproximadamente 4,9 mV (0,0049 V) na entrada analógica. A relação entre a tensão presente na entrada analógica e o valor atribuído pelo conversor A/D (em decimal) pode ser descrita pela fórmula abaixo:

$$V = X * 0,0049$$

Onde:

V – tensão na entrada analógica (em Volts)

X – valor de tensão convertido pelo conversor A/D (0-1023)

Ao substituir X pelo valor fornecido pelo conversor A/D, podemos encontrar a tensão (em Volts) presente na entrada analógica. Através dessa fórmula podemos também descobrir o valor do conversor A/D correspondente a uma certa tensão. Logo adiante neste tutorial, mostraremos como se pode ler, num programa, o valor de resposta dos sensores.

Conexão de sensores digitais

A conexão de sensores digitais ao Kit, pode ser realizada de duas maneiras. Cada conector de Sensores do MEC1000 ou do *Módulo de Sensores Genérico* do KDR5000 disponibiliza uma entrada digital, o que nos possibilita ligar dois sensores ao MEC1000 e quatro sensores ao KDR5000.

Podemos também utilizar o conector de Entradas Digitais do MEC1000 e os dois conectores de Entradas Digitais do *Módulo de Entradas, Saídas e Servo-motores* do KDR5000. Como cada conector disponibiliza 8 entradas digitais, podemos ligar oito sensores digitais ao MEC1000 e 16 sensores digitais ao KDR5000.

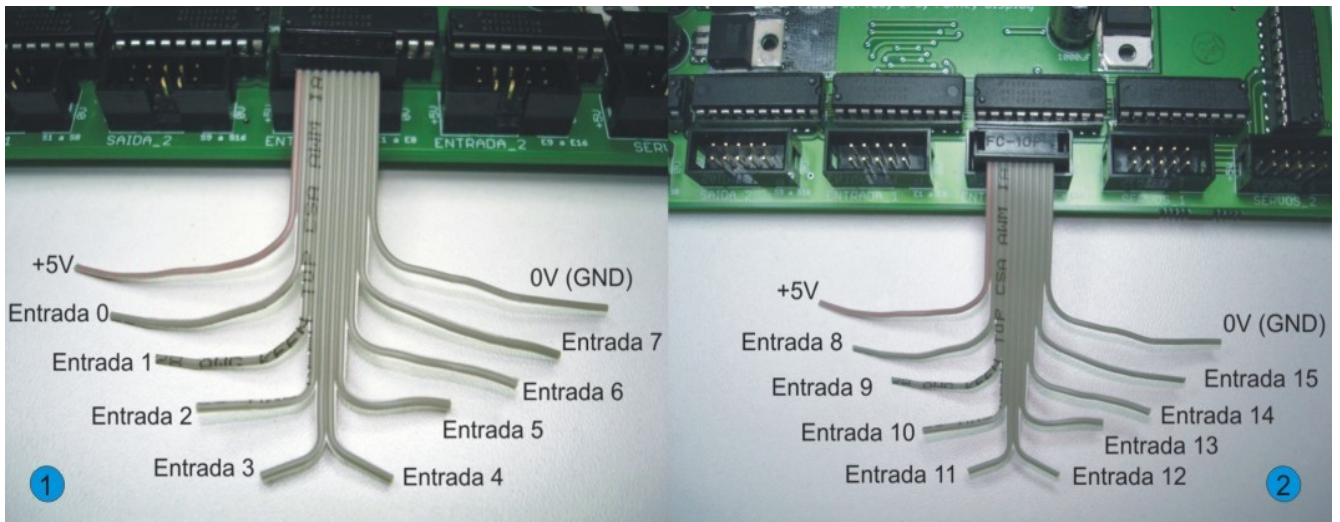


Figura 112: Conectores de Entradas Digitais disponíveis no Módulo de Entradas, Saídas e Servo-motores do KDR5000. 1- Porta de entradas digitais 0. 2- Porta de entradas digitais 1.

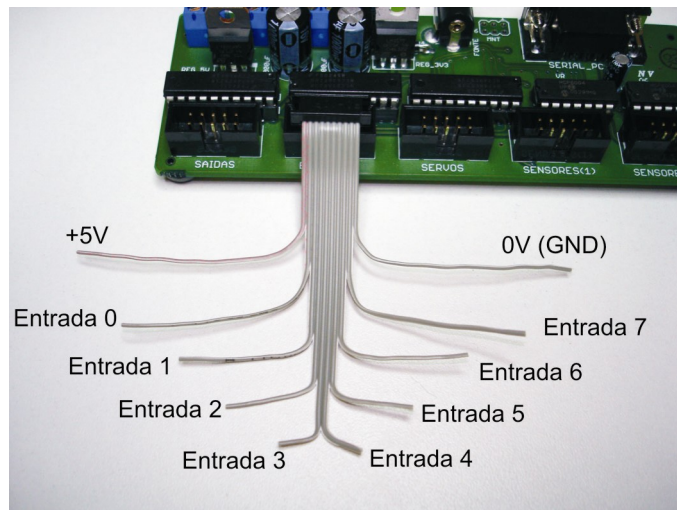


Figura 113: Conector de Entradas Digitais disponível no MEC1000.

É importante lembrar que podemos utilizar os dois conectores simultaneamente, não estando restritos à utilização de apenas um conector por vez. Porém, é importante que também se tenha isto em mente durante a utilização de algum programa para monitorar a resposta desses sensores.

A alimentação dos sensores a serem utilizados pode ser feita através dos terminais de 5 V e 0 V, disponíveis nesses conectores. Lembre-se sempre de conferir bem a pinagem do sensor a ser utilizado antes de ligá-lo.

Uma tensão de aproximadamente 5 Volts numa entrada de sinais digitais corresponderá a um nível lógico Alto (1), enquanto que uma tensão de 0 Volt será interpretada como um nível lógico Baixo (0). É extremamente importante que a tensão não ultrapasse esses limites, ou seja, ela não pode ser superior a 5 Volts ou inferior a 0 Volt. Também é recomendado que a tensão de saída do sensor a ser utilizado seja bem definida, próxima dos valores limites de 5V e 0V, pois a leitura de tensões intermediárias (de 3 V, por exemplo) pode causar confusão ao Kit

Também existem limites quanto à corrente destinada à entrada digital, que não pode ser maior do que algumas poucas dezenas de miliampères. Portanto, sempre trabalhe com uma boa margem de segurança e dimensione seus circuitos de modo a não causar nenhum dano ao Kit.

Leitura dos valores dos sensores

Podemos, com facilidade, realizar a leitura dos valores dos sensores através de um programa. Neste caso, devemos utilizar as funções disponíveis na biblioteca de controle do Kit para realizar a leitura das portas de Sensores e de Entradas Digitais.

Ao utilizar os conectores específicos para Sensores, podemos ler o valor retornado pelos conversores A/D ou pela entrada digital disponíveis em cada um desses conectores. Devemos utilizar a função `SensorReadNow`, presente na biblioteca de controle do Kit, para essa finalidade. Essa função é declarada da seguinte forma:

```
SensorReadNow (sensor : integer) : integer;
```

Essa função possui como parâmetro uma variável do tipo *integer* (inteiro), que indica o canal de sensor a ser lido, de acordo com a tabela abaixo. Ela retorna um valor do tipo *integer* entre 0 e 1023, que é o valor lido pelo conversor A/D (no caso de uma entrada de sensores analógicos) ou pela entrada digital (no caso de uma entrada de sensores digitais) do canal desejado. No caso de utilizarmos um sensor digital, haverá apenas duas respostas distintas: um valor próximo de 0 e um valor próximo de 1023.

A tabela abaixo mostra os valores a serem enviados como parâmetro correspondentes a cada conector de entrada de sensores do MEC1000 e do KDR5000.

Canal	MEC1000	KDR 5000 - Módulo de Sensores Genérico
00	Conector 1: Primeira entrada analógica	Conector 1: Primeira entrada analógica
01	Conector 1: Segunda entrada analógica	Conector 1: Segunda entrada analógica
02	Conector 1: Terceira entrada analógica	Conector 1: Terceira entrada analógica
03	Conector 1: Entrada digital	Conector 1: Entrada digital
04	Conector 2: Primeira entrada analógica	Conector 2: Primeira entrada analógica
05	Conector 2: Segunda entrada analógica	Conector 2: Segunda entrada analógica
06	Conector 2: Terceira entrada analógica	Conector 2: Terceira entrada analógica
07	Conector 2: Entrada digital	Conector 2: Entrada digital
08	Não utilizado	Conector 3: Primeira entrada analógica
09	Não utilizado	Conector 3: Segunda entrada analógica

Canal	MEC1000	KDR 5000 - Módulo de Sensores Genérico
10	Não utilizado	Conector 3: Terceira entrada analógica
11	Não utilizado	Conector 3: Entrada digital
12	Não utilizado	Conector 4: Primeira entrada analógica
13	Não utilizado	Conector 4: Segunda entrada analógica
14	Não utilizado	Conector 4: Terceira entrada analógica
15	Não utilizado	Conector 4: Entrada digital

Utilizando o seguinte exemplo em um programa:

```
Sensor:= kit.SensorReadNow(5);
```

Será atribuído à variável *Sensor* (que deve ser declarada como *integer*) o valor lido pelo conversor A/D da segunda entrada analógica da Entrada 1. Esse valor será um número inteiro de 0 a 1023 que indicará a tensão lida pelo conversor A/D.

No caso de utilizar os sensores digitais ligados a um dos conectores de Entradas Digitais, devemos utilizar a função *DigitalPortRead*, também presente na biblioteca de controle do Kit. Essa função é declarada da seguinte maneira:

```
DigitalPortRead (port : integer) : Byte;
```

Essa função possui um parâmetro do tipo inteiro, que indica a porta de Entradas Digitais a ser lida, de acordo com a tabela abaixo. O retorno dessa função é um valor do tipo *Byte*, ou seja, um valor que varia entre 0 e 255. Esse valor indica quais das entradas digitais dessa porta possuem um nível lógico Baixo e quais possuem um nível lógico Alto.

Para visualizar de modo mais fácil, podemos converter esses valores de um número decimal para um binário de 8 bits. Assim temos que 255 equivale ao número binário 11111111, indicando que todas as entradas estão num nível lógico Alto, e 0 equivale a 00000000, mostrando que todas as entradas estão num nível lógico Baixo. Valores intermediários também mostrarão o estado em que se encontram as entradas digitais.

A tabela a seguir mostra os valores a serem enviados como parâmetro através da função *DigitalPortRead*, com as suas portas de Entradas Digitais correspondentes, tanto para o MEC1000 quanto para o *Módulo de Entradas, Saídas e Servo-motores* do KDR5000.

Porta	MEC1000	KDR 5000 - Módulo de Entradas, Saídas e Servo-Motores
00	Entradas Digitais 0	Entradas Digitais 0
01	Não utilizada	Entradas Digitais 1

Utilizando o seguinte exemplo em um programa:

```
Digital:= kit.DigitalPortRead(0);
```

Será atribuído à variável Digital (que deve ser declarada como *byte*) o valor lido em todas as entradas digitais do conector de Entradas Digitais 0. Caso haja um nível lógico Alto em todas as entradas dessa porta, será atribuído o valor 255 à variável (255 é o número inteiro correspondente ao binário 11111111). Se apenas a primeira e a última entradas estiverem num nível Alto, será atribuído o valor 129 (129 é o número inteiro correspondente ao binário 10000001).

Através dessas funções, são inúmeras as possibilidades de projetos que podemos desenvolver, relacionando sensores e as funcionalidades apresentadas tanto pelo MEC1000 quanto pelo KDR5000.

6 – Conclusão

A utilização de sensores é algo essencial no mundo moderno. Seja para controlar processos industriais, monitorar condições climáticas e ambientais ou simplesmente facilitar procedimentos da vida cotidiana, podemos encontrá-los em diversas situações.

Ao longo desse tutorial, vimos diversos tipos de sensores analógicos e digitais. Descrevemos o seu funcionamento, as aplicações onde eles são comumente utilizados ultimamente, e como podemos utilizá-los corretamente.

A utilização de sensores é algo muito interessante, pois possibilita que circuitos eletrônicos tenham contato com o ambiente em que se encontram e realizem ações de acordo com determinadas informações provenientes dos sensores.

Podemos então, a partir das informações presentes nesse tutorial, utilizar sensores em uma infinita gama de projetos. É interessante não ficar preso aos exemplos mostrados aqui, mas elaborar sistemas diversificados utilizando um ou vários tipos de sensores. De acordo com as informações provenientes dos sensores, podemos fazer com que sejam controlados LEDs, displays de cristal líquido, motores e diversos outros componentes e equipamentos.

Não necessariamente esses sensores devem ser ligados ao Kit, mas podem ser utilizados com outros circuitos também, desde que sejam ligados de modo correto. Utilizando a criatividade, podemos então aplicá-los em diversos projetos e circuitos.