

Equipe AUTOMATRON de Robótica

**Sensores para Aplicação no Robô Coyote
(Robô Tipo A.G.V. Seguidor de linhas)**

Araraquara 16 de outubro de 2009

Sumário

1	Introdução.....	4
1.1	Introdução aos Sensores.....	4
1.2	Sensores Digitais	4
1.3	Sensores Analógicos.....	5
2.	Objetivos.....	5
3.	Metodologia.....	5
3.1	Circuitos selecionados para os testes.....	5
3.2	Testes dos circuitos selecionados.....	6
3.3	Distância de Operação.....	6
3.4	Tempo de Resposta.....	6
3.5	Repetibilidade.....	6
4.	Resultados Obtidos nos Testes.....	7
4.1	Sensor Utilizando LDR.....	7
4.2	Sensor Utilizando LM324.....	9
4.3	Sensor Utilizando Infravermelho e Transistor BC549.....	14
5.	Conclusão	16
6.	Referências Bibliográficas	17

Lista de Figuras

1 - Circuito sensor com LDR.....	7
2- LDR (resistor dependente de luz).....	8
3- Padrão de cores.....	9
4- Comparador com alimentação simples e seu acionamento.....	10
5- Circuito receptor do sensor infravermelho utilizando LM324.....	11
6- C7L3 transdutor de infravermelho.....	11
7- Circuito de infravermelho montado no experimento.....	14
8- Circuito sensor utilizando BC549.....	14

Lista de Tabelas

1 - Resultados obtidos no experimento com sensor utilizando LM324.....	13
2- Resultados obtidos no experimento com sensor utilizando BC549.....	15

Lista de Equações

1 – Tensão de referência.....	10
-------------------------------	----

1. Introdução.

A uma crescente utilização de robôs autônomos em diversas aplicações, principalmente em locais onde existe risco à vida humana, assim muitas pesquisas e competições ocorrem no intuito de incentivar estudantes de engenharia e áreas a fins á desenvolver conhecimentos sobre o tema.

Em nossa instituição foi formado o grupo de desenvolvimento (Automatron), para que este venha a participar algumas competições.

O objetivo deste grupo é o desenvolvimento e implantação de um robô seguidor de linhas, e outros projetos não mencionados neste texto, o robô denominado de Coyote, um robô tipo A.G.V (Automatic guided vehicles). Este robô deverá ser capaz de seguir uma linha de cor branca por direções previamente determinadas.

O robô construído será acompanhado de um artigo técnico descrevendo seu desenvolvimento, utilizando metodologias de disciplinas comuns à grade do curso de engenharia mecatrônica como: desenho técnico para desenvolver a estrutura do robô, eletrônica para confecção de circuitos e por ultimo a lógica de programação para o desenvolvimento de algoritmos de controle para guiar e comandar as ações do robô.

1.1. Introdução aos Sensores.

Sensores são dispositivos que coletam medidas dos meio físicos, tais como: temperatura, pressão, presença e intensidade luminosa.

As grandezas mesuradas pelos sensores são combinadas a fim de se obter informações sobre os meios físicos onde estão inseridos os sistemas.

Um sensor muda seu comportamento sob a ação de uma grandeza física, podendo fornecer de forma direta ou indireta um sinal que indica essa grandeza, convertendo uma quantidade física em um sinal geralmente elétrico [Dally, Riley e McConnel,1993].

1.2. Sensores Digitais.

Os sensores digitais são aqueles cuja “saída” apresenta apenas dois estados, aos quais comumente nos referimos como alto e baixo ou 1 e 0. São, por isso, muito simples de serem conectados à micro-controladores [Duarte M. C. G., Prado J. P. A., 2005].

1.3 - Sensores Analógicos.

Sensores analógicos são aqueles cuja saída pode assumir infinitos valores dentro de uma determinada faixa. Sendo assim, faz-se necessário algum tipo de conversão da saída destes sensores para que possam ser utilizados em projetos que envolvem eletrônica digital [Duarte M. C. G., Prado J. P. A., 2005].

2. Objetivo.

O robô tem que seguir uma trajetória branca em cima de uma pista de cor preta o principal objetivo do trabalho deste subgrupo é: pesquisar e desenvolver métodos com a finalidade de serem implantados no sistema, sensores que possam detectar faixas brancas (claras) em superfície preta (escura) e verificar o desempenho dos mesmos. O foco deste trabalho é prioritário ao sensoriamento do sistema, já que todas as ações do robô vão depender dos sinais obtidos por eles.

3. Metodologia.

3.1 Circuitos selecionados para os testes.

No circuito eletrônico do robô Coyote é necessário um circuito específico para amplificar os sinais dos elementos transdutores.

Com o circuito completamente configurado e ajustado para o caso específico de seguir linhas brancas se obtém o circuito sensor que mede as grandezas físicas do meio externo e faz parte do circuito eletrônico de controle do robô. Foram selecionados três circuitos sensores para detecção da faixa preta e branca, para serem testados e avaliados, assim proporcionando ao robô a habilidade de seguir uma linha branca demarcada no solo de cor preta.

Esses três circuitos foram testados em laboratório com finalidade de se obter qual apresentaria melhor comportamento para a aplicação. Nos três circuitos encontraram-se configurações com vários elementos dentre eles: foto emissor de luz infravermelho e foto transistor receptor, resistor variável por luz, circuitos integrados para a amplificação dos sinais obtidos pelos

elementos transdutores, transistores para amplificação de sinais e elementos comuns de uso em eletrônica como resistores e capacitores.

Todos os circuitos selecionados para os testes foram encontrados nos textos da bibliografia presente neste trabalho, são circuitos publicados em livros, trabalhos de conclusão de curso, revistas e sites especializados em eletrônica e robótica educacional.

3.2 Testes dos circuitos selecionados.

Todos os circuitos selecionados foram montados em matriz de contatos (*protobord*), e ajustados com o objetivo de analisar qual a máxima e mínima distância sensível (distância de operação), ou seja, as distâncias das quais os sensores conseguem obter leitura, observar o tempo de acionamento da saída (tempo de resposta do sensor) e a estabilidade dos sinais obtidos (repetibilidade).

3.3 Distância de operação.

Faixa de distância em que o sensor consegue operar, fazer uma boa leitura sem estar dentro de sua zona cega ou perder o sinal por excesso de distância entre objeto a ser detectado e o sensor.

3.4 – Tempo de resposta.

É o tempo decorrido para que uma mudança nas entradas seja percebida como uma mudança estável na saída. Em alguns sensores a saída oscila em um intervalo de tempo antes de alcançar um valor estável. O tempo de resposta é medido desde o início da mudança na entrada até a estabilização de saída [Pieri, E. R., 2002].

3.5 – Repetibilidade.

É a medida da diferença entre duas medidas sucessivas sob as mesmas condições [Pieri, E. R., 2002].

4. Resultados obtidos nos testes.

4.1 Sensor utilizando LDR.

O primeiro circuito a ser testado encontra-se configurado pelo circuito da figura 1.

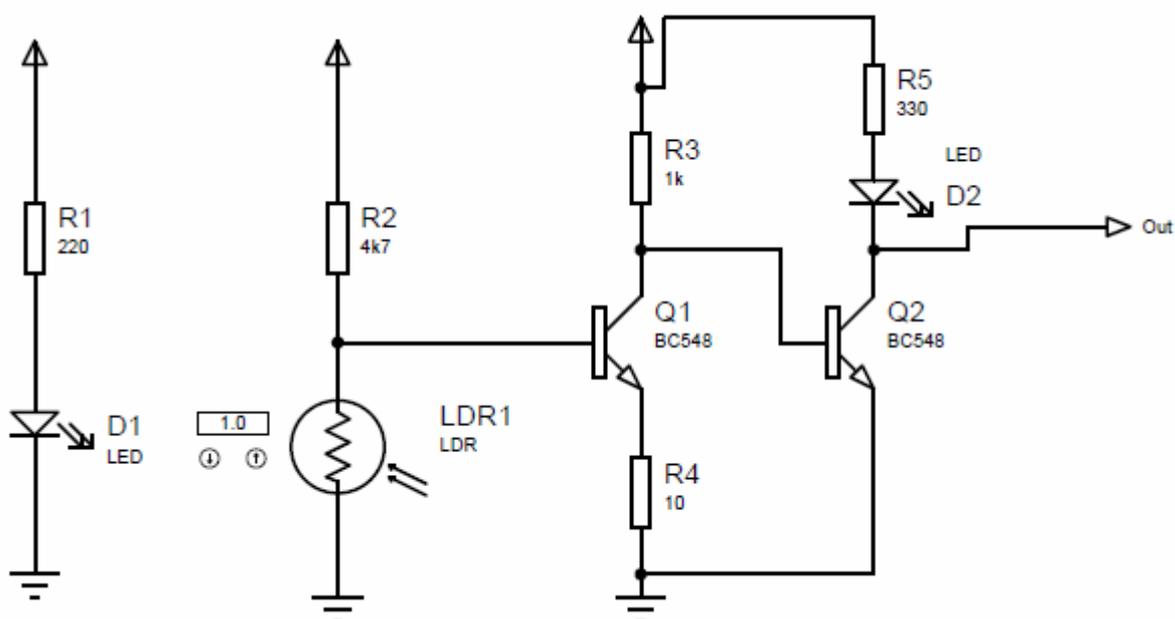


Figura 1-Circuito sensor com LDR.

Neste circuito encontra-se um LDR (light dependent resistor), que é um resistor variável por luz, ou seja, quanto mais luz é emitida sobre sua superfície, menor será sua resistência, conforme diminui a luz proporcionalmente aumentará sua resistividade, além disso, é possível medir a tensão sobre ele, pois conforme se altera a luz sobre o LDR o mesmo provocará uma alteração de tensão através de seus terminais assim é possível se obter um circuito sensor que transforma energia luminosa em diferença de potencial elétrico, onde seu elemento transdutor é um LDR conforme apresentado na figura 2.

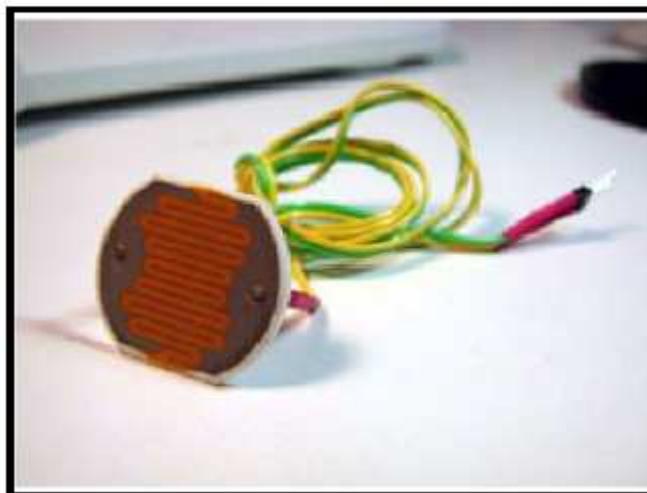


Figura 2-LDR (resistor dependente de luz)

No circuito da figura 1, o LDR controla a corrente da base do transistor Q2, do circuito operando como um amplificador, que por sua vez controla a corrente de base do transistor Q1, que opera como uma chave eletrônica.

Assim quando se tem luz presente na superfície sensora do LDR, ele diminui sua resistência fazendo com que circule corrente através de seus terminais, não havendo corrente para o transistor Q1, quando não há luz sua resistência aumenta assim a corrente flui pela base do transistor Q2.

Esse sensor apresenta uma saída digital, quando tem luz presente no LDR a saída deve ser de nível baixo (0 V) e quando não há luz a saída deve de nível alto (5 V).

Esse circuito sensor foi montado em matriz de contatos e avaliado, por meio de uma fonte de luz e um padrão (matriz de cor branca e preta), a fim de se avaliar seu desempenho. Na figura 3 encontra-se uma ilustração do padrão de cores utilizado nos testes.



Figura 3- Padrão de cores.

Antes de ser montado fisicamente o circuito foi testado utilizando um software de simulações de circuitos eletrônicos e apresentou o comportamento esperado. Porém quando testado fisicamente não teve comportamento desejado. Ao colocá-lo sobre uma superfície de cor preta (escura) o mesmo não enviou sinal nenhum para a saída, portanto a saída não foi acionada em nível alto, que é o sinal esperado sobre a superfície escura, e o sensor não se comportou da maneira esperada. Quando exposto a luz ambiente por sofrer interferências ele não consegue operar, funcionando apenas em ambientes com iluminação reduzida, visto que sua fonte de luz é um LED (light emitting diodes) posicionado ao lado do LDR, como esse não é o tipo de aplicação do robô.

Conclui-se que este circuito não está apropriado para a aplicação no robô Coyote. Porém com alguns ajustes ele poderá oferecer uma boa resposta para ambientes de baixa luminosidade.

4.2 Sensor utilizando LM324

Um amplificador operacional (amp. op) típico pode funcionar a partir de uma única fonte de alimentação positiva, essa técnica de utilização e configuração de sua forma de operação, ops é conhecida como comparador com alimentação simples, aterrando-se o pino – Vee, como ilustrado na figura 4 (a).

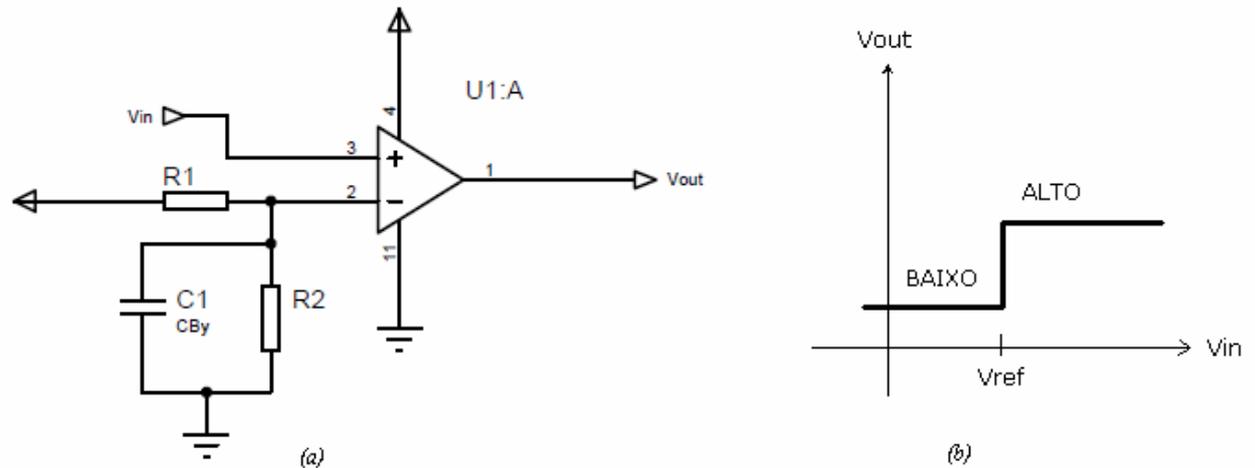


Figura 4-Comparador com alimentação simples e seu acionamento.

Assim a tensão tem apenas uma polaridade, uma tensão positiva baixa e a outra alta. Quando v_{in} (tensão aplicada há porta não-inversora) for maior do que v_{ref} , que é a tensão de referência aplicada à porta inversora do amp. op, a saída será alta, conforme ilustrada na figura 4 (b), quando v_{in} for menor que v_{ref} a saída será baixa. Nos dois casos, a saída tem apenas uma polaridade positiva. Na maioria das aplicações digitais, este tipo de saída positiva é preferida [Malvino A. P. 1995].

A tensão de referência aplicada à entrada inversora é positiva e igual:

$$v_{ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (1)$$

Onde:

V_{ref} : Tensão de referência aplicada à entrada inversora.

R_2 : Resistência do divisor de tensão conectada a tensão de alimentação.

R_1 : Resistência do divisor de tensão aterrado.

V_{cc} : Tensão de alimentação do circuito.

Na aplicação de um comparador de alimentação simples como amplificador de sinal de um sensor utilizando foto-receptor e foto-emissor de luz infravermelha, foi selecionado um circuito configurado conforme apresentado pela figura 5.

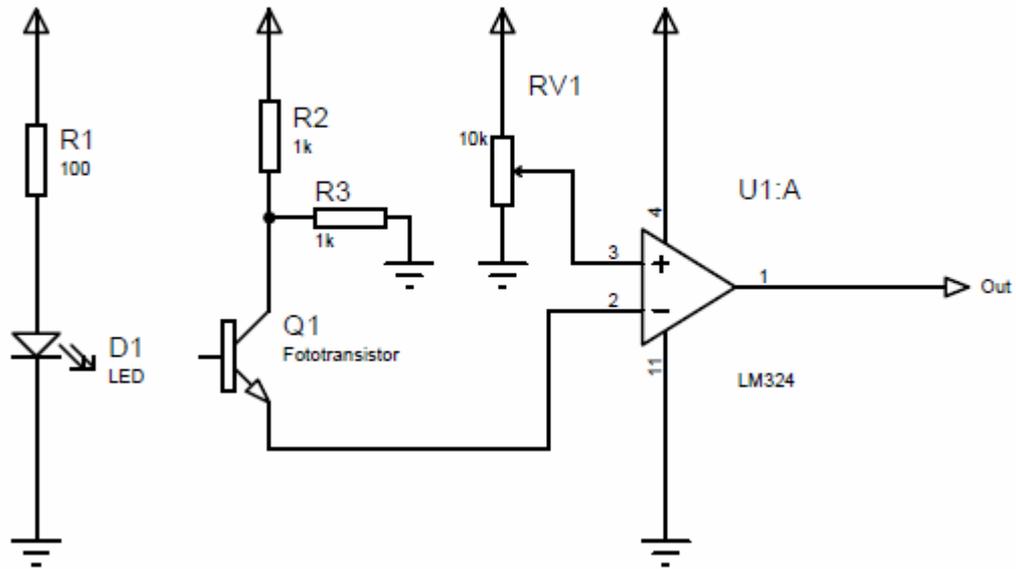


Figura 5-Circuito sensor de infravermelho utilizando LM324.

Nesse sensor o elemento transdutor é o par foto-emissor foto-receptor de luz infravermelha, o emissor emite raios de luz infravermelha, que são invisíveis aos olhos humanos com 900nm aproximadamente, esses raios são emitidos pelo emissor continuamente. O receptor recebe essa luz incidente em sua superfície, assim permitindo a passagem de elétrica suficiente para o acionamento da saída do circuito, em torno de 40 mA, através de seus terminais. Se a quantidade de luz recebida em sua superfície não é suficientemente alta ele oferece uma resistência a essa corrente, passando apenas em torno de 4uA através de seus terminais.

Os transdutores empregados nos testes desse circuito foi o *C7L3* produzido pela empresa *Cromatek Ltda*, consiste em uma chave óptica refletiva triangular, ou seja, um par emissor-receptor de infravermelho com um encapsulamento apropriado para aplicações onde transdutor opere por reflexão (reflete a luz do emissor para o receptor). A figura 6 ilustra esse conjunto.

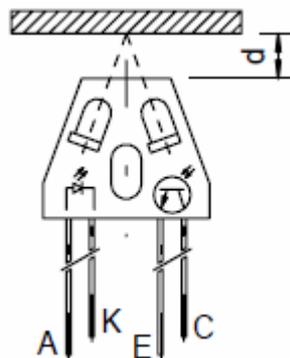


Figura 6-C7L3 transdutor de infravermelho.

Como o transdutor não possui um sinal elétrico suficiente para acionar o pino de um microcontrolador se faz necessário um amplificador para filtrar e amplificar o sinal de resposta do transdutor, nesse caso um amplificador operacional típico LM324.

O amp. op LM324 no circuito receptor do sensor opera como um comparador de tensão simples, o potenciômetro conectado a entrada não –inversora é o v_{in} de entrada que nesse circuito funciona calibrando o sensor, a entrada inversora recebe a tensão do divisor de tensão com os resistores de $1k\Omega$, como a alimentação desse circuito é 5 V e R_1 é igual a R_2 esse divisor apresenta uma tensão de 2,5 V.

Quando há luz no receptor ele conduz permitindo uma tensão de 2,5 V na entrada inversora, quando não há luz ele oferece uma resistência à tensão assim aparece uma tensão de 1,7 V na entrada inversora do amp. op, pois o receptor está conectado em série com o divisor e a porta.

Esses dois níveis de tensão são comparados com a tensão de entrada vinda do potenciômetro, se for maior a saída é acionada e se for menor é desativada.

Configurando assim um sensor digital no padrão TTL.

A fim de se avaliar o desempenho desse circuito sensor foi realizado experimento em matriz de contatos.

O circuito foi montado seguindo a configuração da figura 5, foram feitas medidas e o sensor foi testado com um padrão preto e branco para verificar o seu comportamento e ajustar sua configuração para obter a calibração ideal para a aplicação.

No experimento realizado foram feitas as seguintes medições, descritas pela tabela abaixo:

Tabela 1- Resultados obtidos no experimento com sensor utilizando LM324.

Distância de operação	25 +/- 0,4 mm
Tensão do divisor de tensão	2,5 +/- 0,3 V
Tensão do potenciômetro com o sensor calibrado	2,5 +/- 0,05 V
Tensão na porta inversora com reflexão (claro)	1,5 +/- 0,3 V
Tensão na porta inversora sem reflexão (escuro)	2,5 +/- 0,3 V
Tensão na saída com reflexão (claro)	ALTA (5V)
Tensão na saída sem reflexão (escuro)	BAIXA (0V)

Com esse circuito sensor obtiveram-se boas características, apresentando a resposta esperada para o sensor na aplicação do robô, com ele foi possível sem interferências da luz ambiente configurar a calibração com o padrão de cores e obter respostas favoráveis como: estabilidade dos sinais tanto no claro quanto no escuro (não apresentando oscilações na resposta), operação com um tempo de acionamento da saída suficientemente baixo (operação dentro da janela de tempo esperada para o sensor, permitindo que o sinal seja tratado via software), distância de operação considerada boa para a aplicação (os sensores serão instalados na parte de baixo do chassi do robô). A figura 7 apresenta o sensor de infravermelho montado na *protoborad*.

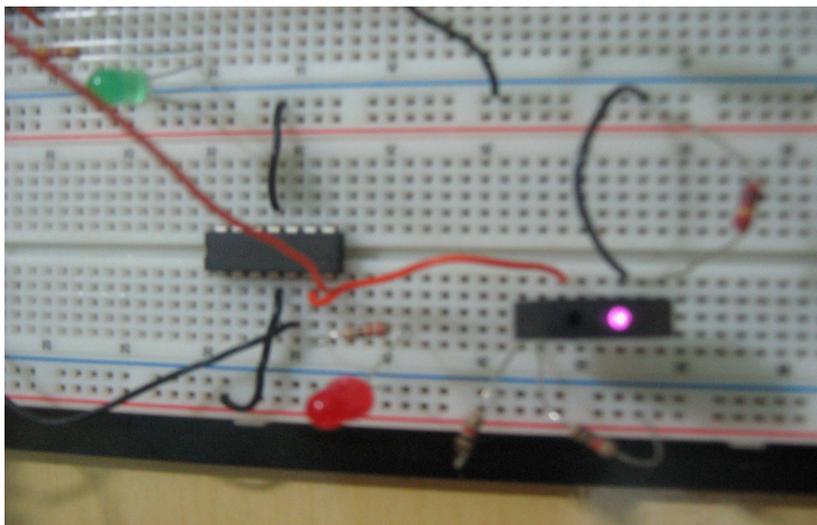


Figura 7- Circuito de infravermelho montado no experimento.

4.3 Sensor utilizando infravermelho e transistor BC549.

Os sinais do transdutor de infravermelho, como já citados, não possuem sinal elétrico suficiente para acionar a entrada de um microcontrolador, no circuito da figura 8 encontram-se: o par foto emissor-receptor de infravermelho, para amplificação do sinal tem-se um transistor de uso geral BC549 NPN e resistores de uso comum em eletrônica.

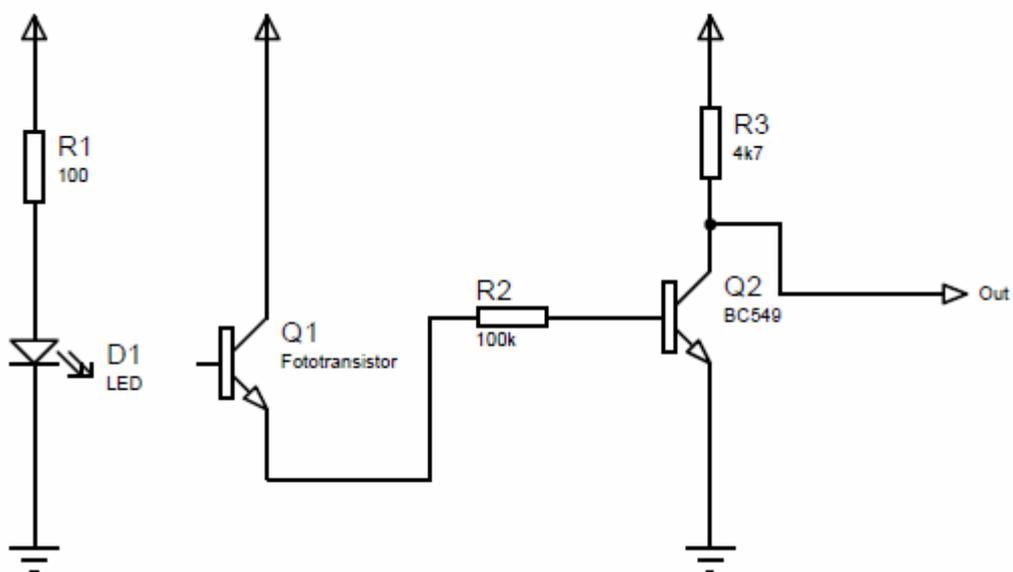


Figura 8-Circuito sensor utilizando BC549.

Esse circuito tem um funcionamento bem simples o LED emissor de infravermelho emite luz continuamente, quando sua luz é refletida para o foto transistor receptor esse passa a conduzir

corrente através de seus terminais, assim há corrente de base no transistor BC549. Com corrente passando pelo resistor de $100K\Omega$ o transistor entra em saturação conduzindo corrente entre seu coletor e seu emissor (I_c), isso produz uma tensão na saída de nível baixo (0V).

Quando não há reflexão da luz infravermelha o foto transistor está em corte assim não há corrente circulando pelos seus terminais, que faz o transistor BC549 entrar em corte aparecendo a tensão de alimentação (5V) na saída, ou seja, nível alto.

Como o transistor BC549 está polarizado tipo emissor comum e seu funcionamento no circuito é como uma chave eletrônica, que tem seu acionamento controlado pelo transdutor de infravermelho, esta configuração caracteriza um sensor digital. Quando há sinal de infravermelho na entrada se tem nível baixo na saída, quando não há sinal na entrada o sensor apresenta nível alto na saída.

A fim de se avaliar o desempenho desse circuito sensor foi realizado experimento em matriz de contatos.

O circuito foi montado seguindo a configuração da figura 8, foram feitas medidas e o sensor foi testado com um padrão preto e branco para verificar o seu comportamento e ajusta-lo.

Nesse experimento foi usado o mesmo par de transdutores de infravermelho do experimento com LM324, pois a finalidade do circuito esta na amplificação dos sinais dos transdutores.

No experimento realizado foram feitas as seguintes medições, descritas na tabela abaixo:

Tabela 2- Resultados obtidos no experimento com sensor utilizando BC549.

Distância de operação	30 +/- 0,5 mm
Tensão na saída com reflexão (claro)	Nível baixo (0V)
Tensão na saída sem reflexão (escuro)	Nível Alto (5v)
Corrente de saída do BC549	20 +/- 5 mA
Corrente de base do BC549	24 +/- 14 uA

Com esse circuito sensor foi possível detectar faixas pretas e brancas, apresentando a resposta desejada para o sensor, não sofrendo interferência da luz ambiente, assim foi possível obter: tempo de resposta bastante rápido (devido ao chaveamento dos transistores), distância de operação maior que com LM324 um comportamento considerado muito bom, porém quanto a sua estabilidade apresentou uma resposta oscilatória em algumas comutações, ou seja, quando se alternava a parte escura com a clara e vice versa do padrão de cores (algumas comutações o sensor não mantinha seu

sinal alto ou baixo na saída mesmo em cima de uma cor fixa o sinal apresentava pulsos na saída o que pode confundir o software de controle).

5. Conclusão

O objetivo de selecionar e testar esses circuitos, assim como levantar metodologias na bibliografia encontrada e disponibilizada, com o propósito de se encontrar o melhor método e o circuito sensor atendesse satisfatoriamente há aplicação do circuito eletrônico do robô *Coyote* que está sendo desenvolvido pela equipe Automatron de robótica, foi atingido e concluído.

Com esse trabalho experimental e de pesquisa, foi possível encontrar os métodos e o circuito necessários para a aplicação, com os experimentos realizados conclui-se que o circuito sensor mais adequado para a aplicação é o sensor com infravermelho utilizando o LM324, pois apresentou comportamento satisfatório e boa configuração física, como o C.I LM324 (circuito integrado) possui quatro amplificadores operacionais internamente no seu encapsulamento o que possibilita com um único C.I obter quatro sensores, permitindo uma economia de espaço físico na placa de controle (que é uma característica muito desejável) e também vem a economizar no requisito de custos.

6. Referencias Bibliográficas.

- [1] MALVINO. A. P. Eletrônica: volume 1. 4º ed. São Paulo, S.P: Person Makron Books, 1997.
- [2] MALVINO. A. P. Eletrônica: volume 2. 4º ed. São Paulo, S.P: Person Makron Books, 1995.
- [3] Pieri. E. R. Curso de robótica móvel (Conclusão do programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- [4] Duarte. M. C. G, Prado J. P. A. Introdução à Robótica: Manual do Kit de Robótica da Empresa PNCA, 2005.
- [5] Cavalcante. B. H. D, Castro. D. O. G. Sensores para robôs móveis. Monografia (referente à obtenção do título de engenheiro eletricista). Centro Universitário de Lins- UNILINS, Lins- SP, 2005.
- [6] Boylestad, R. L, NASHELSKY, L. Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos. 8º ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.
- [7] Dally, J. W, Riley, W. F, McConnell, K. G. Instrumentation for Engineering Measurements. 2º ed. USA: John Wilay & Sons. Inc, 1993.
- [8] Botskool, LineFollower, 2009. Disponível em: <<http://www.botskool.com/tutorials/electronics/8051/line-follower>>. Acesso em: 10 de outubro de 2009.