

## ROBÔ AUTÔNOMO MICROCONTROLADO<sup>‡</sup>

**Hugo LIMA; Ginalber SERRA; Wanderson SILVA; Cleyton COSTA**

Laboratório de Inteligência Computacional e Controle - LabICC

Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão

Av. Getúlio Vargas, nº. 04, Monte Castelo, São Luís, MA - Brasil; Telefone: (98) 3218 Ramal: 9088, Fax: 32189019

hugolima92@oi.com.br; ginalber@cefet-ma.br; wandersonlicar@yahoo.com; cleytoncosta15@hotmail.com

### RESUMO

Este trabalho propõe a implementação e construção de um Robô Autônomo Microcontrolado, o qual tem autonomia energética e operacional, apresentando a capacidade de vagar em um ambiente estruturado e desviar de obstáculos que impeçam o livre percurso do mesmo, sem necessidade de intervenção externa. A locomoção é feita através de motores de passo, controlados pelo módulo controlador dos motores, baseado no microcontrolador PIC16F84. O módulo principal, fundamentado no mesmo microcontrolador, recebe os sinais dos sensores infravermelhos externos e os processa conforme a estratégia de controle desenvolvida, tomando as decisões enviadas pela interface para o módulo dos motores, conforme as seguintes funções: *mover-se para direita, para esquerda, para frente e para trás*. O programa responsável pela interpretação das variáveis e execução das tarefas foi desenvolvido em linguagem *Assembler*, e a alimentação é feita através de baterias embarcadas. A metodologia adotada refere-se à simulação do comportamento do PIC16F84, utilizando-se o Ambiente de Simulação *MPLAB*, seguida pela implementação da programação sobre o mesmo e pela construção dos módulos do Robô Autônomo.

**Palavras-chave:** Robótica, Robô Autônomo, Sistemas Autônomos, Controle Digital, Microcontrolador PIC16F84.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos observou-se um aumento com relação ao potencial de aplicações dos robôs autônomos móveis, especialmente em tarefas perigosas (JÁCOBO, 2001). Os campos de atuação da robótica aplicada abrangem inúmeros setores e ambientes, e a utilização de robôs na realização de tarefas humanas tem aumentado a cada dia. Já é possível observar mecanismos robóticos móveis efetuando atividades como combate a incêndios e calamidades, salvamento e resgate de pessoas, transporte de cargas em fábricas, exploração espacial, manuseio de materiais perigosos, limpeza industrial e doméstica, manipulação de pacientes, etc. A tendência é que o uso de robôs móveis expanda-se nos próximos anos em áreas como a mineração, transporte de cargas, agricultura, assistência aos portadores de deficiências e exploração espacial (NAVES C., 2002). Uma característica comum destas aplicações é a exigência de um veículo móvel, ao invés do robô industrial, que sirva como base para qualquer tarefa exigida. A exigência comum para tal veículo móvel é a habilidade para movimentar-se de uma posição conhecida a uma nova localização, evitar obstáculos e se posicionar na tarefa a ser realizada. Isto é possível com o uso de um sistema de sensores, o qual deve adquirir os dados que descrevem o ambiente e passá-los ao sistema de computador do robô, que faz os cálculos necessários para que o sistema piloto do robô controle os movimentos (BOTTURA, 1982). Ao colocar o robô como substituto do homem, deve-se dotá-lo de autonomia, para que ele possa trabalhar conjuntamente com as demais máquinas. Esta autonomia deve ser mecânica, de controle e, se possível, energética. Assim como ocorreu com os computadores, os robôs foram classificados de acordo com o seu surgimento:

---

<sup>‡</sup> Projeto de pesquisa com apoio financeiro PIBIC-Júnior da Fundação de Amparo a Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA.

- **Primeira Geração: Robôs Sequenciais.** São manipuladores automáticos a ciclos ou cadência de operadores preestabelecidas, controlados em malha aberta. Têm de 2 a 4 graus de liberdade e só executam tarefas simples como, por exemplo, carga e descarga de prensas, máquinas e ferramentas, conforme citado por González et.al. (2004).
- **Segunda Geração: Robôs a Ciclos Programáveis.** São robôs um pouco mais sofisticados; possuem de 4 a 8 graus de liberdade e, em função do modo de programação, podem ser divididos em: robôs programáveis por aprendizagem ou robôs “Play-Back” e robôs programáveis por linguagem (KUO, 1996).
- **Terceira Geração: Robôs Inteligentes.** São robôs capazes de se adaptar às modificações do ambiente mediante sistemas de controle, percepção, comunicação e decisão, além de serem capazes de executar tarefas via interações com o meio ambiente, como relatam N. Júnior e Yonujarama (2000).

Os robôs móveis inteligentes possuem três formas básicas de locomoção, podendo utilizar apenas uma delas ou uma associação dessas configurações. Estas formas são: dispositivos articulados de rotação (rodas), corpos articulados e pernas. A forma de locomoção do robô deve levar em conta a finalidade, o tipo de terreno em que o robô opera e autonomia energética. Além disso, um Robô Autônomo atual é equipado com sensores (visão, infravermelho, sonar, tato, toque, sistemas de navegação inercial, etc.) que permitem a percepção do ambiente, total ou parcialmente desconhecido, e é dotado de capacidade de decisão, que lhe permite cumprir uma tarefa sem intervenção humana. Quando tais sensores estão disponíveis no robô, pode-se fazer uso da interação do robô com o ambiente, fazendo-o perceber e construir o modelo do ambiente no qual o movimento se desenvolve e depois decidir as ações a serem tomadas para a realização da tarefa. Os processos de percepção e decisão de um dispositivo robótico autônomo podem ser classificados de três formas:

- **Estratégia reativa:** o comportamento do robô é determinado pelos estímulos exteriores vindos do ambiente através dos sensores, como é o caso do veículo mecatrônico fotossensível proposto por Serra e Costa (2007).
- **Estratégia deliberada:** as informações do ambiente são previamente processadas, e a tarefa e o comportamento do robô são, da mesma forma, previamente determinados.
- **Estratégia híbrida:** junção das duas anteriores.

Há ainda de se destacar o sistema de controle disponível para administrar e coordenar as diversas tarefas que um robô autônomo pode realizar. No caso da utilização de um microcontrolador PIC (um computador completo instalado num pequeno chip de silício, ainda que de prestações limitadas), pode-se obter uma grande precisão na decodificação e execução de atividades no campo da robótica, controle e sistemas inteligentes (SOUSA, 2004). O reduzido tamanho e a grande versatilidade deste dispositivo garante a autonomia desejada na implementação de robôs móveis autônomos, possibilitando inclusive a modificação do programa utilizado, desde que se disponha de mecanismos adequados para a correta concepção de um conjunto de comandos em linguagem de baixo nível, como a linguagem *Assembler*, ou de alto nível, como a linguagem C (USATEGUI e MARTÍNEZ). Neste último caso, deve ser possível realizar a compilação da referida linguagem em outra de baixo nível, isto é, aquela reconhecida pelos microcontroladores. Dessa forma, existe um enorme potencial e interesse na aplicação dos robôs móveis autônomos, pois a sua utilização abarca a maioria das áreas da vida humana. Além de existir este potencial na utilização deste tipo de robôs, na área acadêmica existem poucos trabalhos dedicados à verificação de dados teóricos com dados experimentais adquiridos com um robô real, e não por simulações. Portanto, diante do que foi exposto, entendemos que é importante o desenvolvimento da pesquisa e a construção de um Robô Autônomo Microcontrolado, dito representante da Terceira Geração de Robôs, fundamentado numa estratégia híbrida de ação previamente definida por um microcontrolador PIC e estimulada por sensores infravermelhos. Este trabalho propõe a implementação e construção de um Robô Autônomo Microcontrolado, o qual tem autonomia energética e operacional, apresentando a capacidade de vagar em um ambiente estruturado e desviar de obstáculos que impeçam o livre percurso do mesmo, sem necessidade de intervenção externa. A locomoção é feita através de motores de passo, controlados pelo módulo controlador dos motores, baseado no microcontrolador PIC16F84. O módulo principal, fundamentado no mesmo microcontrolador, recebe os sinais dos sensores infravermelhos externos e os processa conforme a estratégia de controle desenvolvida, tomando as decisões enviadas pela interface para o módulo dos motores, conforme as seguintes funções: *mover-se para direita, para esquerda, para frente e para trás*. O programa responsável pela interpretação

das variáveis e execução das tarefas foi desenvolvido em linguagem *Assembler*, e a alimentação é feita através de baterias embarcadas. A metodologia adotada refere-se à simulação do comportamento do PIC16F84, utilizando-se o Ambiente de Simulação *MPLAB*, seguida pela implementação da programação sobre o mesmo e pela construção dos módulos do Robô Autônomo.

## 2. ROBÔ AUTÔNOMO: FUNDAMENTAÇÃO E PROPOSTA

O objetivo deste trabalho é propor a prototipação de um Robô Autônomo Microcontrolado, explorando a utilização de um microcontrolador programável, com base em um programa previamente desenvolvido em linguagem *Assembler*. Para a realização deste trabalho, implementação de um Robô Autônomo, foi necessário seguir vários passos: escolha de um microcontrolador adequado às necessidades do projeto (PIC16F84), conhecimento da linguagem de programação, escolha dos módulos de “hardware”, seleção dos motores, dos tipos de sensores a serem usados, baterias, desenho da plataforma móvel, montagem do conjunto, e testes finais. Em seguida, projetou-se o microcontrolador PIC16F84, implementando a programação sobre o mesmo e construindo os módulos no Robô Autônomo Microcontrolado; além disso, foi realizada a simulação do comportamento do PIC16F84, utilizando-se o Ambiente de Simulação *MPLAB*, capaz de demonstrar o funcionamento deste microcontrolador com precisão, de modo a proporcionar ao projetista evitar eventuais erros na implementação do robô. Os resultados do trabalho foram obtidos através de experimentos com o Robô Autônomo Microcontrolado, implicando em sua total validação.

### 2.1. Caracterização do Robô Autônomo

Utilizou-se, nesta prototipação do Robô Autônomo Microcontrolado, um microcontrolador pertencente à família PIC (PIC16F84). Este tipo de computador programável é fabricado pela *Microchip Technology*, processa bits, institui memória de programa, memória de dados e outros recursos auxiliares que dão ao PIC praticidade, robustez e economia em suas aplicações (SILVA e VIDAL, 1998). A estrutura física do Robô Autônomo Microcontrolado foi organizada com base nos seguintes módulos: a) *módulo de alimentação*, constituído por baterias embarcadas, é responsável pelo fornecimento da energia necessária para o funcionamento do robô; b) *módulo de sensoriamento*, constituído por um conjunto de sensores infravermelhos responsáveis pela adequada detecção de obstáculos e envio dos sinais ao módulo de lógica e controle; c) *módulo de lógica e controle*, representado por um microcontrolador PIC16F84, é responsável por todas as atividades de controle do protótipo (envio e recepção de sinais entre os módulos), armazenamento da programação e ações a serem realizadas pelo robô; d) *módulo de potência*, que consiste em um circuito integrado (*driver* de corrente) ULN2803 para acionamento dos motores de passo, executando, então, o movimento comandado pelo módulo de lógica e controle. A **Figura 1** apresenta o diagrama de blocos representativo do funcionamento dos módulos.

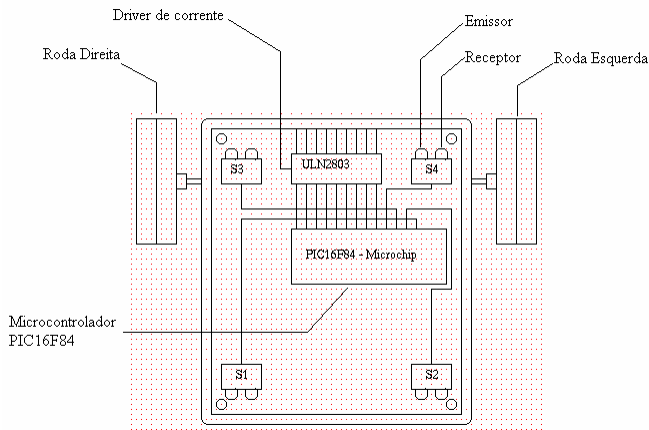


**Figura 1 – Diagrama de blocos do Robô Autônomo Microcontrolado.**

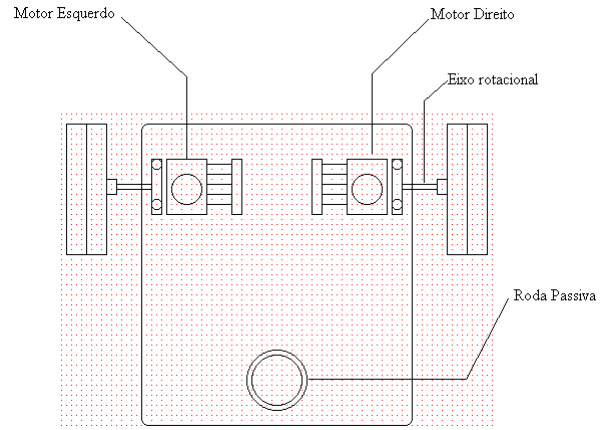
O módulo de lógica e controle recebe os sinais dos sensores infravermelhos e os processa conforme a estratégia de controle implementada. Esta estratégia é baseada em um programa computacional previamente desenvolvido, possibilitando ao robô tomar as decisões que são enviadas pelo módulo de lógica e controle

ao módulo de potência para o acionamento adequado dos motores. Dessa forma, através do sistema lógico antecipadamente desenvolvido sobre o PIC16F84, o protótipo estabelece autonomia, de maneira a executar suas ações em resposta aos estímulos (obstáculos) detectados por seu conjunto de sensores infravermelhos.

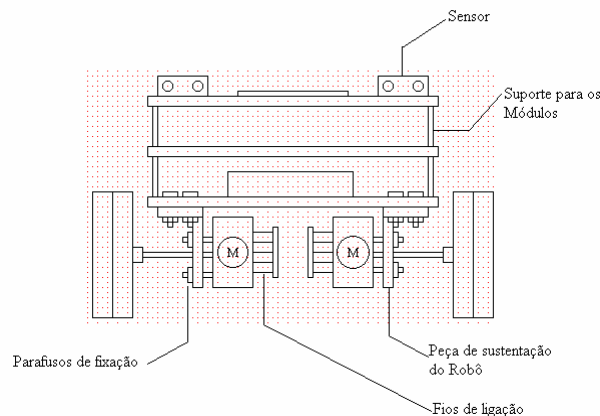
Nas **Figuras 2, 3 e 4**, tem-se as diferentes vistas (superior, inferior e traseira) da plataforma móvel do robô, desenvolvidas através do *software* Xfig. Nelas, pode-se observar os diferentes módulos integrados.



**Figura 2 – Vista superior do robô.**



**Figura 3 – Vista inferior do robô.**



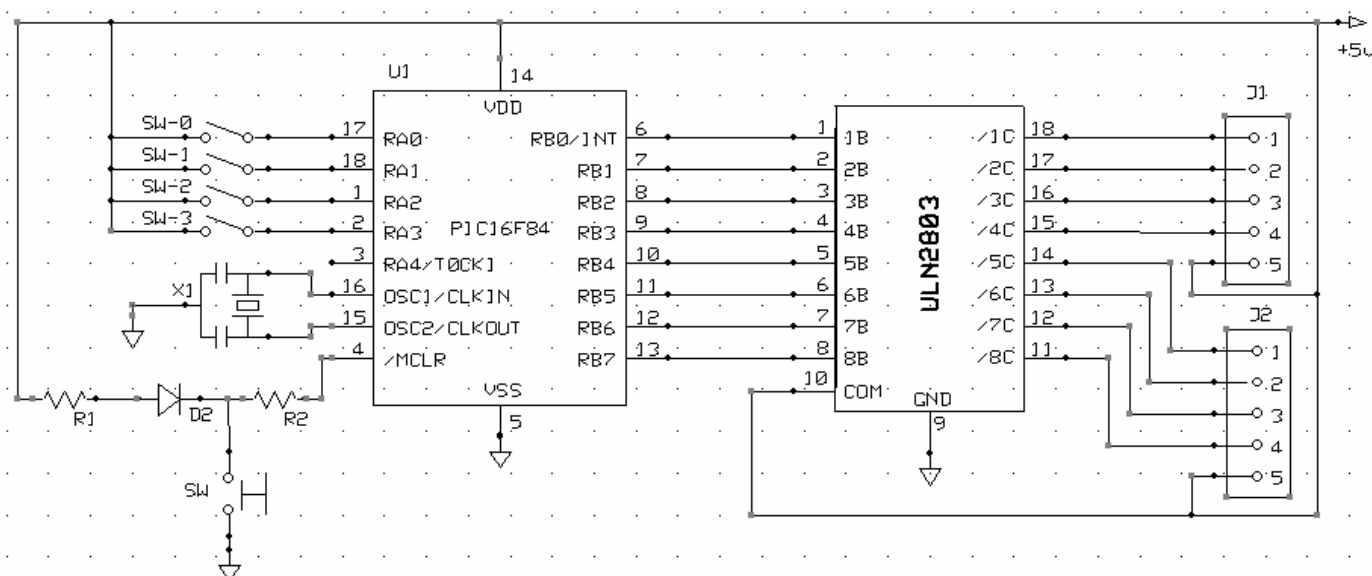
**Figura 4 – Vista traseira do robô.**

### 3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

#### 3.1. Circuito e Funcionamento

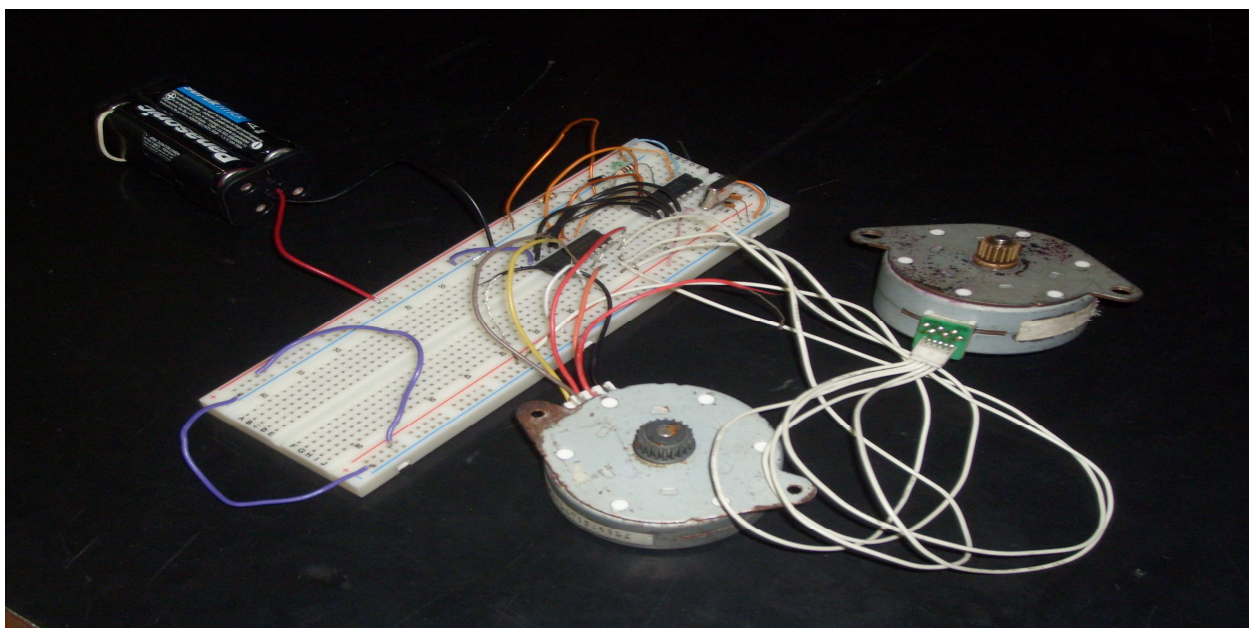
Os motores comuns (de corrente contínua, de corrente alternada, de indução) possuem apenas dois estados de operação: *parado ou rotação*. Quando os motores estão em rotação, o giro é feito com velocidade constante. Entretanto, os motores de passo têm três estados de operação: parado, ativado com travamento do rotor (bobinas energizadas) ou giro em etapas. O movimento dos motores pode ser brusco ou suave, dependendo da frequência e da amplitude dos passos em relação ao estado inercial. Baseando-se nisso, os motores de passo recebem uma classificação especial em relação aos comuns, sendo adequados àquelas situações em que se necessita ter o controle preciso do movimento, a partir de sinais provenientes de um circuito controlador. Os sinais enviados ao motor pelo circuito controlador devem obedecer a uma ordem específica de pulsos e estar perfeitamente sincronizados. Devido às premissas citadas anteriormente, optou-se por utilizar dois motores de passo acoplados ao módulo de potência do Robô Autônomo Microcontrolado, pois este se movimenta de forma de estritamente calculada pelo programa, que possibilita o seu deslocamento de forma a não entrar em choque mecânico com os objetos ao redor. No diagrama esquemático da **Figura 5**, desenvolvido a partir do *software* Express PCB para posterior montagem em placa de circuito impresso, verifica-se o circuito controlador do Robô Autônomo Microcontrolado formado pelo microcontrolador PIC16F84, com seus circuitos auxiliares (oscilador e reset), pelo *driver* de corrente

ULN2803 e pelos dois motores de passo. Os sensores, representantes do módulo de sensoriamento, estão representados pelas quatro chaves simples. O circuito funciona do seguinte modo: os circuitos emissores, representados pelas chaves SW-0 a SW-3, enviam continuamente sinais infravermelhos em quatro direções distintas; quando um ou mais receptores são ativados (ou seja, quando o sinal infravermelho retorna ao circuito após encontrar algum obstáculo físico), enviam nível lógico alto (+5V) às respectivas entradas do microcontrolador (RA0 a RA3). O programa inserido no PIC16F84 analisa a cada instante as diferentes combinações de entrada e, de acordo com as instruções, determina qual a saída correspondente em cada um dos pinos da porta B (RB0 a RB7). Esses bits, após serem amplificados pelo *driver* de corrente ULN2803, são enviados sincronamente às bobinas dos motores de passo, proporcionando a rotação ou o travamento adequado dos mesmos. Tais motores conectam-se às rodas do Robô Autônomo e efetuam o correto deslocamento deste em ambientes diversos. Se nenhum sensor for ativado, isto é, se não houver nenhuma barreira próxima ao robô, ele permanecerá vagando até encontrar algo que impeça a sua passagem, quando se verifica o desvio dos obstáculos. Na próxima seção, serão mostradas as diferentes seqüências executadas pelo microcontrolador, além do fluxograma do programa computacional.



**Figura 5 - Circuito de controle do Robô Autônomo Microcontrolado.**

A **Figura 6** mostra o circuito de controle do Robô Autônomo Microcontrolado montado em uma matriz de contatos.



**Figura 6 - Circuito de controle do Robô Autônomo Microcontrolado montado em uma matriz de contatos.**



Os circuitos de transmissão e recepção de radiações infravermelhas, representados no diagrama do circuito da **Figura 5** pelas chaves conectadas às entradas RA0 a RA3 do microcontrolador PIC16F84, estão representados na **Figura 7**. O sensor utilizado é formado por um emissor e um receptor de luz infravermelha. A parte emissora do sensor é um LED (Diodo Emissor de Luz) infravermelho, e o receptor um elemento fotossensível (fotodiodo). O princípio de funcionamento deste tipo de sensor é o seguinte: um circuito oscilador gera uma onda, que é convertida em luz pelo emissor; quando um objeto está próximo do sensor óptico, esta luz é refletida para o receptor, no qual a energia luminosa desloca elétrons para a banda de condução e reduz a barreira de potencial pelo aumento do número de elétrons livres, que podem circular se aplicada polarização reversa. Esta variação de corrente é detectada por um circuito eletrônico, que então emite o sinal utilizado para inspeção e controle.

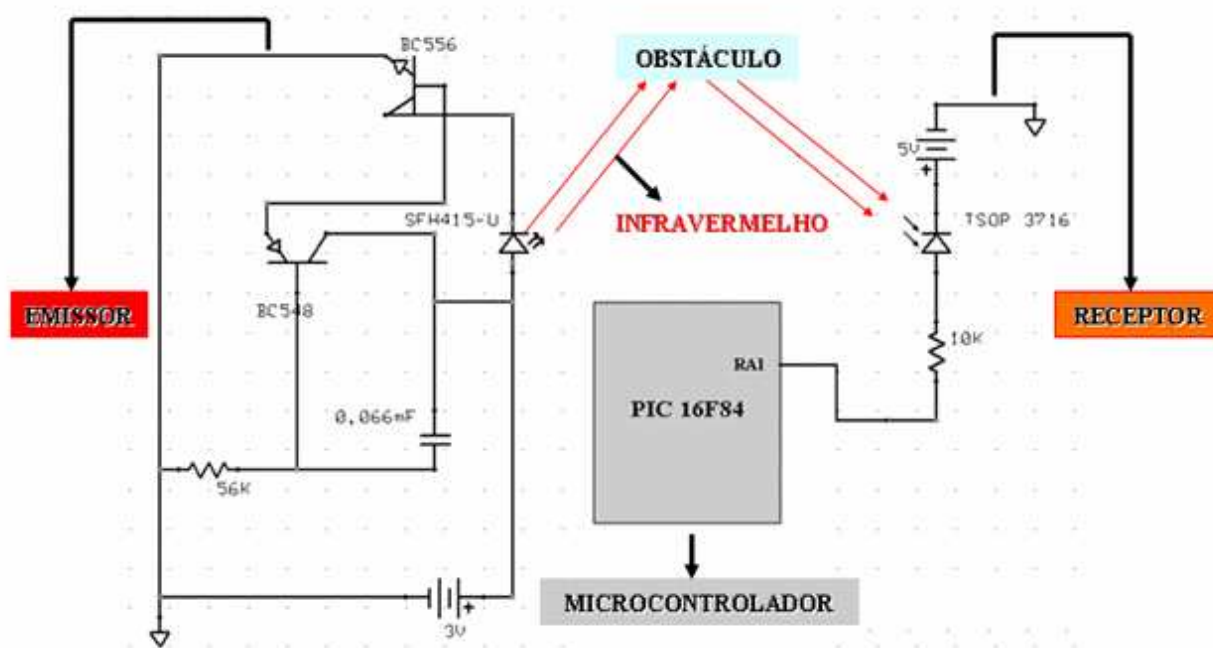


Figura 7 – Módulo de sensoriamento do robô: circuito emissor e receptor de infravermelho.

### 3.2. Programa fonte do PIC16F84

O ponto de partida para a elaboração da interface entre o microcontrolador e o meio externo é a implementação de um programa computacional que atribuirá ao dispositivo o “conhecimento” necessário para executar com êxito as tarefas a ele determinadas. Na implementação do Robô Autônomo Microcontrolado, usou-se a linguagem de programação *Assembler*, que é uma linguagem de baixo nível. Na programação de microcontroladores, esta requer um espaço de memória menor que as linguagens de alto nível, possibilitando assim que o projetista tenha maior comodidade na implementação do programa. O objetivo do programa fonte desenvolvido é fazer o microcontrolador verificar continuamente os estados dos quatro sensores responsáveis pela “visão” do robô; mediante o estado desses sensores, o protótipo executa um movimento com o fim de desviar-se de possíveis obstáculos, proporcionando assim a autonomia do mesmo. O programa é constituído por duas partes principais: o bloco lógico, responsável pela leitura dos estados dos sensores, e o bloco de atuação, que executa a sequência responsável pelo movimento do robô de acordo com a ativação dos sensores. Para que o programa computacional pudesse ser implementado, tomou-se por base a tabela-verdade mostrada na **Tabela 1**, onde se colocou o movimento dos motores de acordo com o estado dos sensores.

**Tabela 1 – Tabela-verdade representando o funcionamento geral (decisões) do robô autônomo durante sua movimentação em ambientes com obstáculos.**

SENSORES				AÇÕES
S1	S2	S3	S4	
0	0	0	0	ROBÔ VAGA PARA FRENTE
0	0	0	1	ROBÔ DESVIA PARA DIREITA
0	0	1	0	ROBÔ DESVIA PARA ESQUERDA
0	0	1	1	ROBÔ VAGA PARA FRENTE
0	1	0	0	ROBÔ RECUA E DESVIA PARA DIREITA
0	1	0	1	ROBÔ DESVIA PARA DIREITA
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	ROBÔ RECUA E DESVIA PARA ESQUERDA
1	0	0	1	ROBO DESVIA PARA ESQUERDA
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	ROBÔ RECUA PARA DIREITA
1	1	1	0	ROBÔ RECUA PARA ESQUERDA
1	1	1	1	ROBÔ PARA

Na elaboração do programa, antes de escrever uma sintaxe em forma de instruções, foi criado um fluxograma representativo do funcionamento do mesmo. O fluxograma é uma ferramenta muito importante, pois ilustra o comportamento do programa e facilita a compreensão do mesmo em uma linguagem de programação. Na **Figura 8**, encontra-se o fluxograma representativo do funcionamento do programa computacional, onde os seguintes números representam as respectivas seqüências enviadas ao microcontrolador PIC16F84:

1 - 0000 // 0011

2 - 0001 // 0101 // 0110 // 0111

3 - 0010 // 1001 // 1010 // 1011 // 1100

4 - 1101

5 - 1110

6 – 0100

7 - 1000

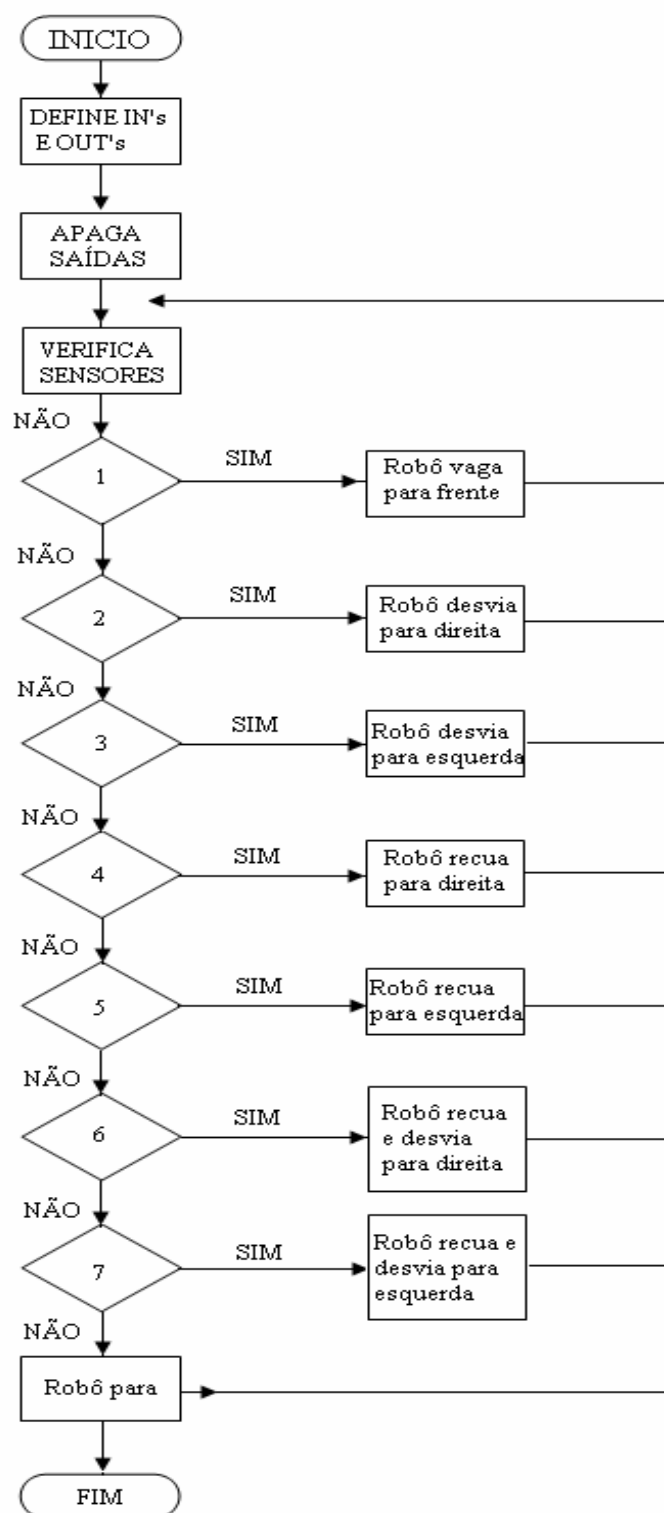


Figura 8 – Fluxograma representativo do funcionamento do programa computacional.



Após a construção do fluxograma, implementou-se o programa em linguagem *Assembler*. No trecho abaixo, encontram-se as rotinas do programa responsáveis pela excitação das bobinas dos motores de passo.

Robô vaga para frente:

```
sequencia_5          movlw b'11001100'  
                     movwf PORTAB  
                     movlw b'11001100'  
                     call  retardo  
                     movwf PORTAB  
                     movlw b'11001100'|  
                     call  retardo  
                     movwf PORTAB  
                     movlw b'11001100'  
                     call  retardo  
                     movwf PORTAB  
                     goto  loop
```

Robô desvia para direita:

```
sequencia_1          movlw b'11001100'  
                     movwf PORTAB  
                     movlw b'11000110'  
                     call  retardo  
                     movwf PORTAB  
                     movlw b'11000011'  
                     call  retardo  
                     movwf PORTAB  
                     movlw b'11001001'  
                     call  retardo  
                     movwf PORTAB  
                     goto  loop
```

Robô desvia para esquerda:

```
sequencia_2          movlw b'11001100'  
                     movwf PORTAB  
                     movlw b'01101100'  
                     call  retardo  
                     movwf PORTAB  
                     movlw b'00111100'  
                     call  retardo  
                     movwf PORTAB  
                     movlw b'10011100'  
                     call  retardo  
                     movwf PORTAB  
                     goto  loop
```

Robô recua e desvia para direita:

```
sequencia_6          movlw b'11001100'          movwf PORTB  
                     movwf PORTAB              movlw b'11001100'  
                     movlw b'11001100'          call  retardo  
                     call  retardo              movwf PORTB  
                     movwf PORTAB              goto  loop  
                     movlw b'11001100'          movlw b'11001100'  
                     call  retardo              call  retardo  
                     movwf PORTAB              movwf PORTB  
                     goto  loop                 movlw b'11000110'  
                     movlw b'10011001'          call  retardo  
                     call  retardo              movwf PORTB  
                     movwf PORTB                 movlw b'11001001'  
                     movlw b'00110011'          call  retardo  
                     call  retardo              movwf PORTB  
                     movwf PORTB                 goto  loop  
                     movlw b'01100110'          call  retardo
```

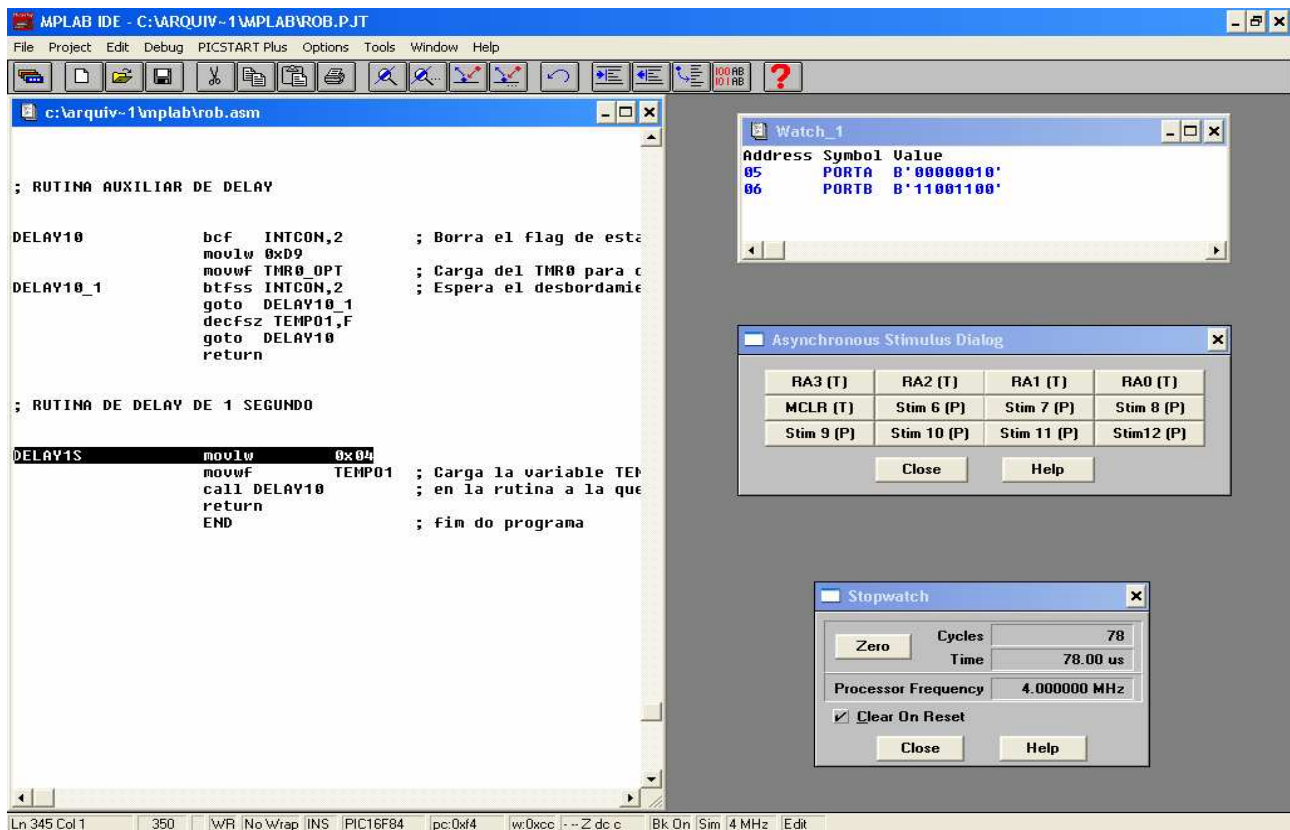
Robô desvia e recua para esquerda:

```

sequencia_7      movlw b'11001100'      movwf PORTB
                  movwf PORTAB          movlw b'11001100'
                  movlw b'11001100'      call retardo
                  call retardo          movwf PORTB
                  movwf PORTAB          goto loop
                  movlw b'11001100'      movlw b'11001100'
                  call retardo          movlw b'01101100'
                  movwf PORTAB          call retardo
                  movlw b'11001100'      movwf PORTB
                  call retardo          movlw b'00111100'
                  goto loop            call retardo
                  movlw b'10011001'      movwf PORTB
                  call retardo          movlw b'10011100'
                  movwf PORTB          call retardo
                  movlw b'00110011'      movwf PORTB
                  call retardo          goto loop
                  movwf PORTB
                  movlw b'01100110'
                  call retardo

```

Na elaboração de programas para microcontroladores, é comum usar-se ferramentas computacionais (simuladores de programa), as quais possibilitam ao projetista a observação do programa antes de inseri-lo na memória do microcontrolador. Estas ferramentas computacionais, ou *softwares*, são de extrema importância na elaboração de projetos com microcontroladores, pois proporcionam a correção de possíveis erros de programação. Na construção do Robô Autônomo Microcontrolado, usou-se o *software* de simulação MPLAB, que é uma ferramenta completa e eficiente. O MPLAB proporciona a visão total da execução do programa, e permite consultar os registros do microcontrolador. Além disso, também dispõe de ferramentas que garantem ao projetista a possibilidade de aplicar estímulos nos pinos do microcontrolador, o que foi muito útil na implementação do Robô Autônomo Microcontrolado, já que o mesmo executa suas ações baseado em estímulos externos. Na **Figura 9**, encontra-se a tela de simulação do *software* MPLAB, com a execução do programa gravado no microcontrolador quando um obstáculo está à direita do robô e este tem que desviar para a esquerda, segundo a sua tabela-verdade apresentada na **Tabela 1**.



**Figura 9** – Tela de simulação do *software* MPLAB, com a execução do programa fonte do PIC16F84: PORTA – S1S2S3S4=0010; PORTB – sequência binária enviada às bobinas dos motores de passo.

#### 4. CONCLUSÃO

O objetivo proposto neste trabalho foi implementar um Robô Autônomo Microcontrolado. Os testes realizados com o Robô Autônomo Microcontrolado implicaram em sua total validação, no sentido de que o mesmo possa desviar-se automaticamente dos obstáculos presentes no ambiente em que foi colocado, de acordo com o programa fonte desenvolvido para o controle de seus movimentos. Como sugestão para futuros trabalhos, podemos citar a construção de robôs com outros microcontroladores PIC da Microchip, que permitam a aquisição de dados, tenham maior capacidade de memória e número maior de portas disponíveis. Além disso, seria possível acoplar novos dispositivos, como por exemplo braços manipuladores, sobre a plataforma do Robô Autônomo Microcontrolado, bem como o uso de outras metodologias de controle baseadas em diferentes teorias, como Redes Neurais e Lógica Fuzzy.

#### REFERÊNCIAS

- BOTTURA, C. P. **Princípios de controle e servomecanismos**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982.
- GONZÁLEZ, D. J. D.; HERRERA, M. M.; BENÍTEZ, S. G.; LOPÉZ, V. V. **Automación y control: prácticas de laboratorio**. McGraw-Hill, 2004.
- JÁCOBO, Justo E. A. **Desenvolvimento de um Robô Autônomo Móvel Versátil utilizando Arquitetura Subsumption**. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 139 p.. Dissertação (Mestrado).
- KUO, C. B. **Sistemas de control automático**. 7.ed. Prentice-Hall, 1996.
- NAVES C. JÚNIOR, J. A. **Veículo Mecatrônico Autônomo**. Curso de Engenharia de Controle e Automação - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2002.
- N. JUNIOR, C. L.; YONUJARAMA, T. **Inteligência artificial em controle e automação**. 1.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.
- SERRA, G. L. O.; COSTA, C. L. **Veículo Mecatrônico Fotossensível**. II Jornada Nacional da Produção Científica em Educação Profissional e Tecnológica. São Luís, 2007. Anais da II JNPCEPT 2007, v. CD-ROM.
- SILVA, J.; Vidal, P. **Microcontroladores PIC: teoria e prática**. São Paulo: Érica, 1998.
- SOUSA, D. **Desbravando o PIC, v. 1**. 1.ed. Prentice-Hall, 2004.
- USATEGUI, J. M. A.; MARTÍNEZ, I. Â. **Microcontroladores PIC: diseño práctico de aplicaciones**. 3.ed. Spain: McGraw Hill, 2003.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio financeiro.