



## **ROBÔ MÓVEL COM CONTROLE EMBARCADO EM UM MICROCONTROLADOR COMO FERRAMENTA DE ENSINO**

**Vinícius G. Pereira** – e-mail: [viniciuspereira.ele@gmail.com](mailto:viniciuspereira.ele@gmail.com)

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS – UNESP) - Departamento de Engenharia Elétrica

Endereço: Campus III

15385-000 - Ilha Solteira- São Paulo

**Nobuo Oki** – e-mail: [nobuo@dee.feis.unesp.br](mailto:nobuo@dee.feis.unesp.br)

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS – UNESP) - Departamento de Engenharia Elétrica

Endereço: Campus III

15385-000 - Ilha Solteira- São Paulo

**Suely C. A. Mantovani**– e-mail: [suely@dee.feis.unesp.br](mailto:suely@dee.feis.unesp.br)

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS – UNESP) - Departamento de Engenharia Elétrica

Endereço: Campus III

15385-000 - Ilha Solteira- São Paulo

**Resumo:** *Visando compor uma ferramenta de ensino para um curso de robôs móveis, propõe-se neste artigo o desenvolvimento de um robô móvel com habilidade para navegação autônoma em qualquer ambiente, que desvia ao encontrar obstáculos. O controle dos movimentos do robô é feito por um microcontrolador da linha AVR-atmega8. Sensores de proximidade, posicionados na frente e nas laterais, informam a presença de obstáculos e a partir do programa, residente no microcontrolador, que faz parte do protótipo do robô, toma-se as decisões atuando nos motores, evitando a colisão. Os movimentos do robô são realizados por dois motores de passo. Descrevem-se as tarefas de navegação para desvio de obstáculos por meio de um fluxograma mostrando os resultados experimentais do projeto em um labirinto, realizados em laboratório. Com este projeto o aluno de um curso de robôs tem a possibilidade de agilizar a sua aprendizagem e aplicar os vários conceitos abordados no curso, mediante o uso de um protótipo e de vários módulos de hardware.*

**Palavras-chave:** *Microcontrolador, Robótica móvel, Motores de passo, Sensores de proximidade, Ferramenta de ensino.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Um curso de engenharia na atual era, dita do conhecimento, exige um grande desdobramento do professor, visto a facilidade do acesso a informação. Como forma de atrair o aluno para a sala de aula e reter sua atenção, busca-se por fórmulas de



aprendizagem lúdicas. Para isso, e com base na literatura (PIO *et al*, 2006), iniciou-se a construção de protótipos visando a sua utilização em um curso de robôs. Esta abordagem prática e contextualizada procura tornar o ensino mais atraente. Para os alunos envolvidos na construção dos protótipos também se constitui em um elemento motivador e uma ferramenta didática importante onde colocam em prática os conhecimentos adquiridos em outras disciplinas. Neste contexto, o processo de construção de robôs, por ser um sistema dinâmico, atrai a atenção dos alunos, principalmente pelo seu aspecto visual. No grupo de Iniciação Científica do Laboratório de Sistemas Digitais foram desenvolvidos três protótipos de robôs móveis com esta finalidade, usando tecnologias como os FPGA e microcontroladores. Descreve-se a seguir, um deles, e os detalhes de sua construção. Foi montado um protótipo de um robô móvel modular, visando sua aplicação no curso de robôs móveis, disciplina optativa do curso de Engenharia da FEIS-UNESP.

### 1.1. O Robô

Um robô é um dispositivo eletromecânico capaz de realizar trabalhos de maneira autônoma, pré-programada, ou através de controle humano. São comumente utilizados na realização de tarefas em locais de baixa iluminação, na realização de tarefas insalubres ou perigosas para os seres humanos, tais como o tratamento de lixo tóxico, exploração subaquática e espacial, mineração, buscas e resgates, e mais recentemente em tarefas que exigem precisão como as cirurgias. Existem outros como o AGV (*Autonomous Guided Vehicle*) utilizados em logística para transporte de materiais, hospitais, portos, laboratórios, e outras aplicações onde o risco, confiabilidade e segurança são fatores importantes (COSTA *et al*, 2003).

A robótica é frequentemente utilizada como tema de pesquisa, onde robôs autônomos ou robôs cognitivos, cada vez mais autossuficientes, são projetados usando para isso, a inteligência artificial.

Dependendo dos algoritmos utilizados tem-se o grau de automação de um robô, embora com algumas limitações, devido às dificuldades de simular a realidade em nível computacional.

Os robôs executam tarefas através de atuadores (elétricos, pneumáticos, sonoros etc.), produzindo sons, acendendo elementos luminosos ou displays, movendo um braço, abrindo ou fechando garra robótica, ou realizando o seu próprio deslocamento. O controle é provido por algoritmos que relacionam as entradas (sensores) e saídas do robô (atuadores-motores), através de unidades de processamento eletrônicas e de softwares, que podem ser desde um circuito eletrônico de controle até mesmo um computador pessoal.

A grande maioria dos robôs é encontrada na indústria, cujas tarefas mais executadas são o deslocamento em um ambiente e a movimentação de objetos ao seu redor, ou seja, a manipulação. Esta distinção em tarefas divide os robôs em duas categorias: robôs móveis e robôs manipuladores, embora existam robôs que podem executar ambas as funções.

As estruturas mecânicas dos robôs são elaboradas de forma a executar determinados movimentos. Os manipuladores são geralmente em forma de braço antropomórfico cujas articulações podem executar movimentos de rotação e de translação.



Na criação de um robô estão envolvidos elementos como sensores e motores, onde se deve analisar o tipo e a quantidade de entradas e saídas. Para isso há a necessidade de determinar quais as tarefas do robô, fonte de alimentação, etc. Alguns elementos como a relação entre o peso do robô e sua fonte de alimentação primária, também são importantes para a montagem do projeto (PIERI, 2002).

Após a base mecânica estar montada e conectados todos os elementos, como sensores, placa de acionamento dos motores do robô, etc., conecta-se o dispositivo que tomará as decisões - uma unidade de processamento, sendo mais comumente usado um microcontrolador. Este circuito avalia os sinais de entrada e calcula a resposta apropriada para cada combinação, enviando sinais aos atuadores de modo a causar uma ação do robô.

Os robôs móveis são muito mais versáteis, pois não precisam estar fixados a uma célula de trabalho como os robôs industriais convencionais, sendo utilizados em tarefas onde não existam limites geográficos, movimentando-se por meio de pernas, rodas, esteiras, etc.

No contexto educacional, a utilização da robótica amplia de modo significativo a gama de atividades que pode ser desenvolvida e promove a integração entre diferentes áreas do conhecimento (NEWMAN *et al.*, 2002). A construção de um protótipo e a busca pela solução de um problema obriga o aluno a organizar o seu conhecimento, a fazer questionamentos. A robótica tem um grande potencial como ferramenta multidisciplinar, fazendo conexões entre as várias disciplinas, possibilitando aos alunos ter uma vivência, na prática, do método científico (GONÇALVES & MEDEIROS, 2007) (MOLHOMEM *et al.*, 2010)

Portanto, apresenta-se o projeto de um protótipo de um robô móvel, capaz de se locomover em um labirinto com movimentos definidos para a locomoção, para frente e para direita, para frente e para esquerda, com o programa do controlador embarcado em um microcontrolador no robô, visando sua aplicação em um curso de robôs móveis.

Relata-se o desenvolvimento do projeto, onde na seção 2 descrevem-se a estrutura do protótipo, e os seus vários elementos. Na seção 3 apresenta-se a placa de automação. A lógica e a programação fazem parte da seção 4. Na seção 5 e 6 apresentam-se os resultados experimentais e a conclusão, respectivamente.

## **2. PROTÓTIPO DO ROBÔ**

No projeto do robô foram considerados o tamanho, peso e a disposição dos vários elementos embarcados como, sensores, motores, a placa contendo o circuito de automação, e baterias para a alimentação. Para sua estrutura foi escolhido o alumínio, por ser leve (Figura 1). A disposição dos motores (2) e sensores (3) pode ser vista na Figura 2. Nesta seção descrevem-se os sensores, os motores e o microcontrolador utilizados.

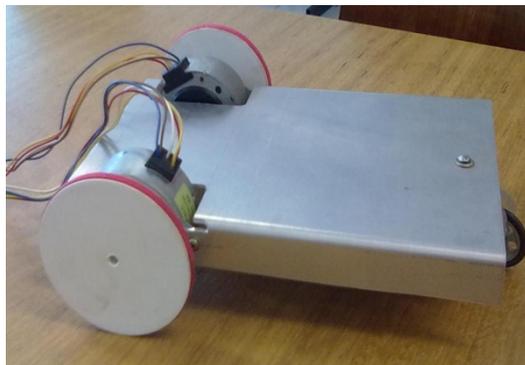


Figura 1 - Estrutura de alumínio do robô

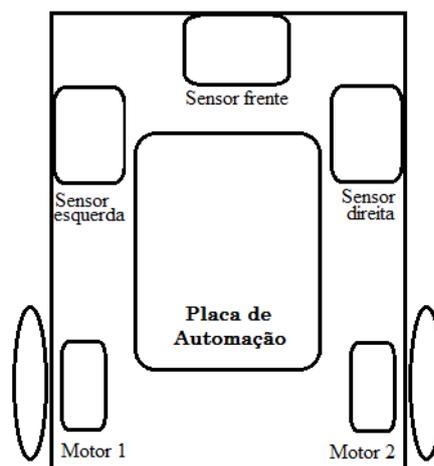


Figura 2 – Representação esquemática do robô.

## 2.1. Sensores de proximidade

Utiliza-se neste projeto um sensor óptico, detector de infravermelho, MIRD (*Modulated Infrared Reflective Detector*) mostrado na Figura 3, o qual detecta objetos por meio de luz infravermelha modulada. Seu sinal de saída pode chegar até 100 mA para transmissão direta de um indicador LED, um relé, ou como uma entrada para um microprocessador. Detecta a presença de objetos, ideal para robôs em miniatura. Este circuito usa um par emissor-detector infravermelho (fotodiodos), onde o LED emissor envia pulsos em uma frequência fixada pelo oscilador controlado por tensão do LM567, CI decodificador de tons. A resposta da detecção de luz refletida do emissor gera um sinal para o CI, que compara a frequência ajustada com a frequência recebida. Se a frequência recebida chega perto da ajustada, a saída vai para nível baixo (zero), caso contrário é mantida em nível alto, 5 Volts.

Como são sensores do tipo reflexivos foram utilizados obstáculos brancos, possibilitando assim maior precisão na detecção, detectando obstáculos à pequenas distâncias e com um baixo custo.

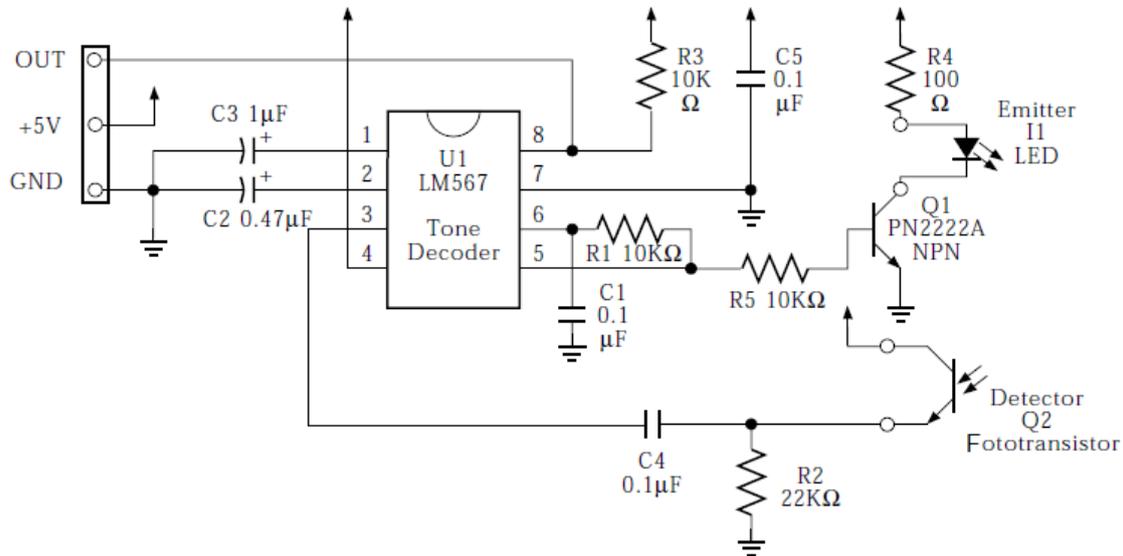


Figura 3 – Esquema do sensor óptico utilizado.

## 2.2. Motor de passo

Também utilizado em robótica quando não há necessidade de alta velocidade, os motores de passo são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas e precisas. O rotor ou eixo de um motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares, denominados “passos”, quando pulsos elétricos são aplicados em uma determinada sequência nos seus terminais. Sua rotação está diretamente relacionada aos impulsos elétricos que são recebidos, bem como a direção de giro do motor depende da sequência em que os pulsos são aplicados.

A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos, e o tamanho do ângulo rotacionado está diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados. São usados em aplicações para controlar fatores, tais como: ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo. Apresenta baixo torque e é habilitado para baixas velocidades. Por isso, usam-se em robôs, impressoras, câmeras de vídeo, brinquedos, entre outros dispositivos eletrônicos que requerem de precisão (BRITES E SANTOS, 2008).

Neste protótipo utiliza-se um motor de passo do tipo Unipolar, que possui duas bobinas com seis fios, sendo cada bobina um enrolamento com derivação central chamado de *center-tape*, tendo como função alimentar o motor, enquanto que os terminais aterrados efetuam o controle do movimento. Ao submeter uma das bobinas a

uma tensão, o campo magnético induzido no estator provoca um movimento de rotação no rotor do motor, até atingir um determinado ponto de equilíbrio.

O movimento de passo usado foi o *Full Step*, Tabela 1, onde apenas uma das bobinas encontra-se energizada por vez. Seu consumo é baixo e assegura precisão. No acionamento dos motores e o tratamento dos dados dos sensores usa-se o microcontrolador ATmega 8.

Tabela 1 – Alimentação das bobinas no passo *Full Step*.

<b>Bobinas</b>	<b>1A</b>	<b>2A</b>	<b>1B</b>	<b>2B</b>
01	1	0	0	0
02	0	1	0	0
03	0	0	1	0
04	0	0	0	1

### 2.3. Microcontrolador

Para o controle do robô utiliza-se o microcontrolador da linha Atmel AVR, ATmega 8 (8 bits), de tecnologia CMOS. Este dispositivo executa uma instrução por ciclo de *clock*. Esta taxa de execução de instruções é possível de ser alcançada em virtude da conexão direta de seus 32 registradores de propósito gerais com a unidade lógica aritmética (ULA). Também possui um grande número de instruções (130), o que permite melhor otimização de código de alto nível em linguagem C.

O AVR segue arquitetura Harvard, com isso maximiza o desempenho, pois os barramentos associados às memórias de dados e do programa são distintos. A tensão de operação do Atmega8 varia de 4,5 a 5,5 Volts. Possui três canais de PWM, conversor ADC, programação serial no modo USART, 512 Bytes de EEPROM, 1 kbyte de SRAM e 8 kbytes de memória FLASH programável, reset, 23 pinos I/O programáveis, utiliza oscilador externo na faixa de 0 a 16 MHz, dentre outros. Para o controle do robô o *clock* utilizado foi de 4 MHz e uma tensão de alimentação regulada de 5 Volts (ATMEL,2011). A sua escolha foi motivada principalmente, pela sua simplicidade, com recursos suficientes e baixo custo, para o trabalho em questão.

### 3. PLACA DE AUTOMAÇÃO

A automação é feita por uma placa, conforme o diagrama esquemático mostrado na Figura 4, que contém um circuito regulador de tensão de alimentação de 5 Volts, para a alimentação do microcontrolador e das placas dos sensores, o circuito básico para o funcionamento do microcontrolador e *jumps*, para as conexões do microcontrolador aos dois circuitos de potência ou *drivers* necessários para os dois motores de passo do protótipo.

O circuito do microcontrolador utiliza *crystal* externo de 4 MHz e dois capacitores, conforme recomendação do manual do fabricante. Utiliza-se 8 (oito) pinos como saídas



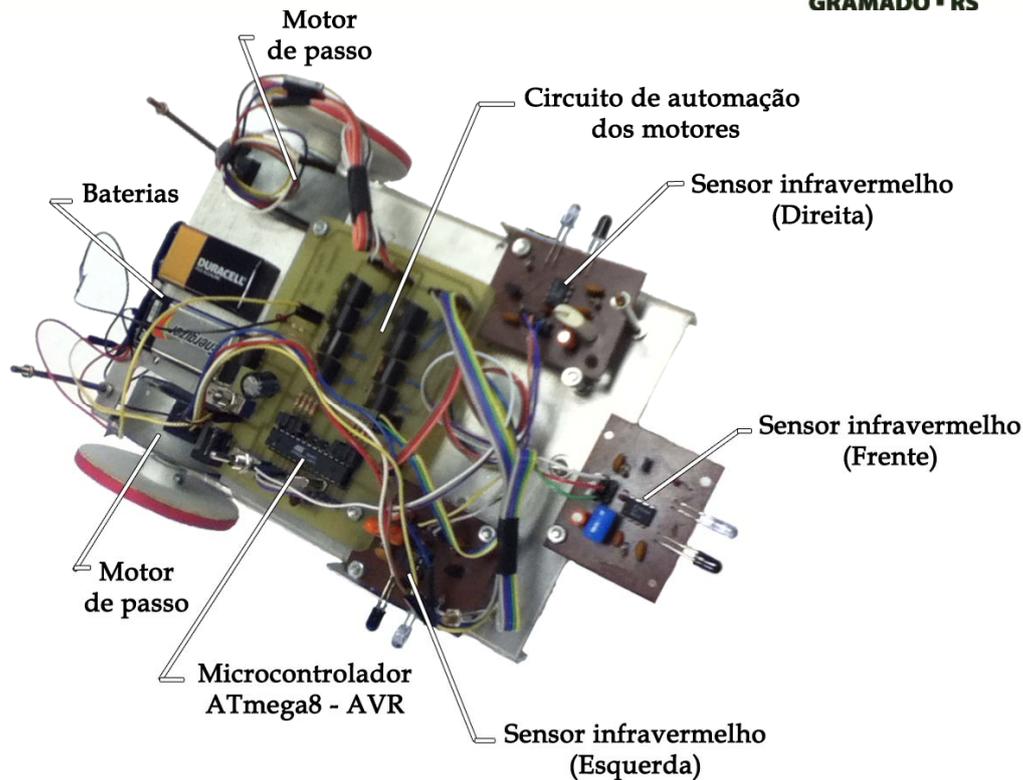


Figura 5 – Robô móvel-protótipo.

#### 4. LÓGICA E PROGRAMAÇÃO

Os movimentos do robô são restritos ao andar para frente, virar para esquerda e para direita. Baseado nestas restrições foi desenvolvido o programa de controle, residente no microcontrolador. O fluxograma do programa é mostrado na Figura 6.

Neste fluxograma, depois da programação de inicialização do microcontrolador, realiza-se a leitura dos sensores e na ausência de obstáculo, o robô começa o movimento para frente, sempre realizando a leitura dos sensores. Ao localizar um obstáculo em sua frente ele irá virar para a esquerda (lado escolhido como inicial), se houver obstáculo na frente e no lado esquerdo, o robô irá virar para a direita.

Se o sensor da direita for acionado, o robô gira para a esquerda. O giro é feito fazendo a roda direita girar para frente e a esquerda para trás. Essa ação também deve durar alguns segundos e faz com que o robô gire aproximadamente de 90 graus sobre o eixo que passa pelo centro geométrico entre as duas rodas. Se o sensor da esquerda for acionado o procedimento é o mesmo, porém com um giro para a direita e conforme mostrado na Tabela 2. O recurso do ângulo é usado de forma a desviá-lo do obstáculo corretamente e sem colisão. Os motores dão o passo completo a cada leitura dos sensores enquanto houver a necessidade de desvio do obstáculo.

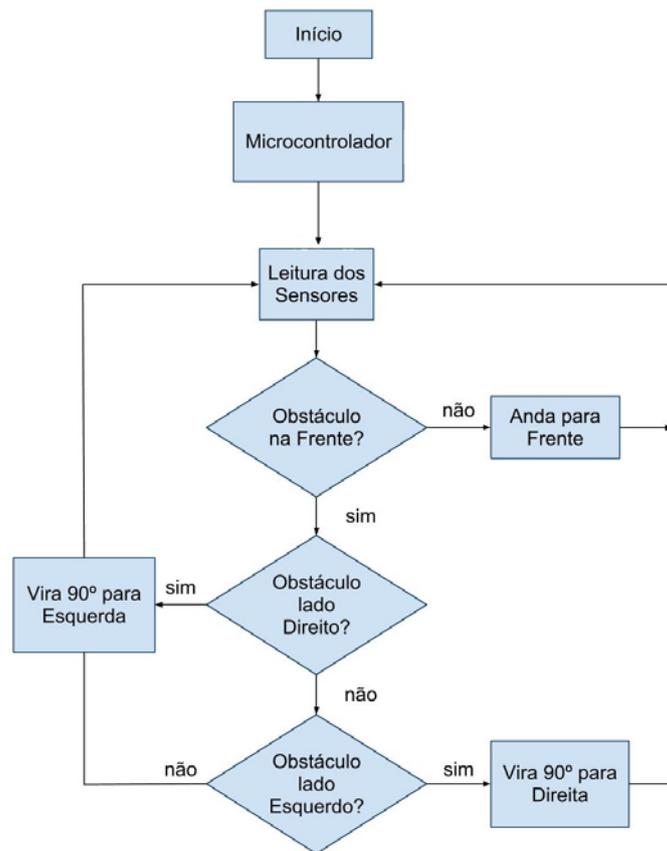


Figura 6 – Fluxograma de controle do robô.

Tabela 2 – Possíveis casos de movimento do robô.

Ação	Sensor da Esquerda	Sensor da Direita	Sensor Frente
<b>Parado</b>	0	0	0
<b>Anda para frente</b>	X	X	1
<b>Vira para direita</b>	0	1	0
<b>Vira para esquerda</b>	1	X	0

O microcontrolador ATmega 8 possui três portas de I/O, que são B, C e D para a comunicação com periféricos e memórias. Utiliza-se neste trabalho, os portos B e C para o controle dos motores e o porto D para a entrada de dados dos sensores. Os 8 bits do porto B e C foram configurados como saída. Os pinos de zero a dois, do porto D[2..0] foram configurados como entrada das informações para os três sensores, conforme codificação da Tabela 2.

A programação foi realizada em linguagem C disponível no software AVR Studio, utilizado para compilação e depuração do microcontrolador da família Atmel. A compilação gera um arquivo em hexadecimal que é gravado no microcontrolador. Para a gravação do programa utiliza-se o software Pony Prog. e um gravador através da

porta paralela de um PC e o conector DB-25, gravando o programa na memória FLASH do microcontrolador.

## 5. RESULTADOS

Foram realizados vários testes com o robô móvel a fim de obter seu pleno desempenho. Tendo como percurso um labirinto, ilustrado na Figura 7 pode-se visualizar o movimento de giro do robô, para a esquerda, ao detectar um obstáculo na frente. Na Figura 8 visualiza-se o movimento de giro para a direita ao detectar um obstáculo na frente, e no lado esquerdo.

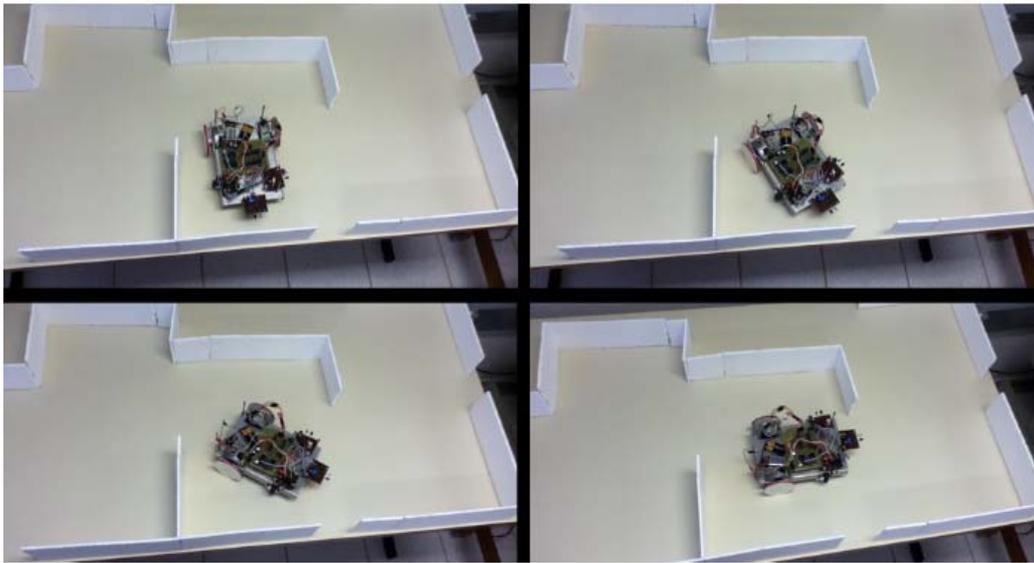


Figura 7 – Giro para a Esquerda.

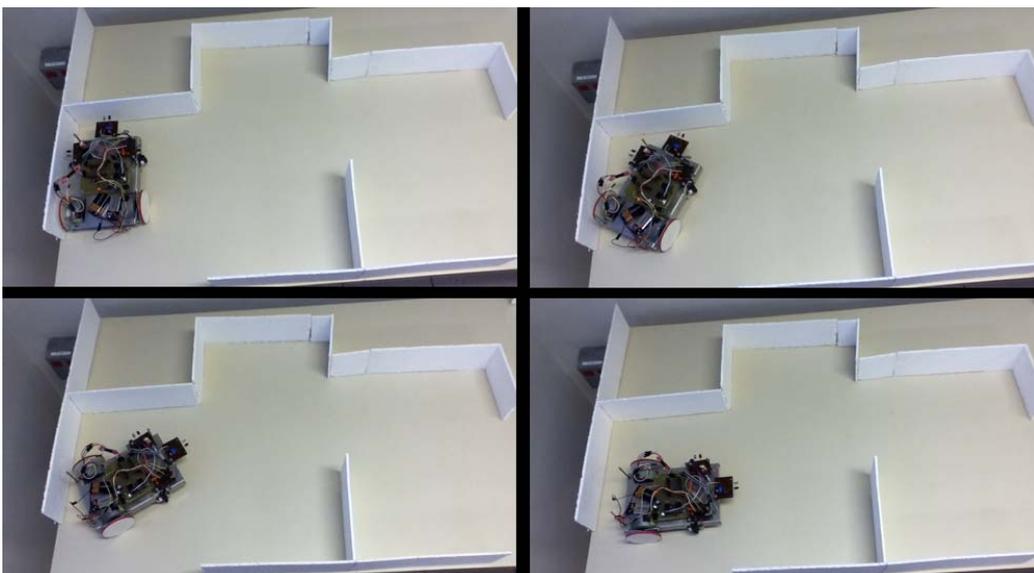


Figura 8– Giro para a Direita.



## 6. CONCLUSÕES

Os resultados experimentais comprovam que o robô microcontrolado foi implementado com êxito, sendo capaz de desviar de qualquer obstáculo que esteja em sua frente, ora para a direita, ora para a esquerda, e parar quando houver obstáculo na frente dos três sensores.

Neste projeto teve-se como uma das metas a montagem de um protótipo de tamanho reduzido, baixo custo, com uso de materiais recicláveis, como as rodas, motores e sensores. O protótipo usa motores de passo com torque suficiente para mover o robô em locais que ofereçam algum atrito.

Quanto ao algoritmo para detecção dos obstáculos e tomada de decisão para acionamento dos motores, este se mostrou bastante eficaz, depois de vários testes inúmeras vezes em *software* de depuração, para somente depois ser gravado no microcontrolador.

Pequenos protótipos podem ser criados com pequenas variações como o uso de outros sensores (câmera, por exemplo), motores cc e outros tipos de acionamentos, outros tipos de movimentos, de forma que sirva de ferramenta de ensino em disciplinas que tratam de robôs móveis, motivando o aluno a usar grande parte do conhecimento adquirido na área de circuitos analógicos, digitais e microprocessadores em um curso de Engenharia Elétrica.

### *Agradecimentos*

Agradecemos à FEPISA (Fundação de Ensino, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira) pelo financiamento de bolsa de Iniciação Científica, processo no. 016/2011, para o desenvolvimento deste projeto e o apoio dos técnicos do laboratório do DEE-FEIS-UNESP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATMEL. **AVR Microcontroller ATmega8 (L)- Complete Datasheet**. Disponível em: <[http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8\\_L\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf)> Acesso em: 04 abr. 2011.

BRITES, Felipe Gonçalves; SANTOS, Vinicius Puga de Almeida. Motor de Passo. Niterói:Grupo Pet-tele, 2008. 15 p. Disponível em: <<http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf>> Acesso em: 10 fev. 2012.

COSTA, Eduardo R.; GOMES, Marcel L.; BIANCHI, Reinaldo A. C Um mini robô móvel seguidor de pistas guiado por visão. Local. In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 6., 2003, Bauru. Anais. p. 710 - 715. Disponível em: <<http://fei.edu.br/sbai/SBAI2003/6oSBAI.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2011.

GONÇALVES, Paulo Cesar; MEDEIROS, Dante A. Filho. Protótipo de um robô móvel de baixo custo para uso educacional. 2007. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2007.

MOLHOMEM, R. L.; BAYMA, R. S.; CASTRO, A. M.; SILVA, C. D. Experiências pedagógicas no desenvolvimento de uma bancada de levitação magnética. Anais: XVIII – Congresso Brasileiro de Automática. Bonito -MS, 2010.

NEWMAN, K. E.; HAMBLEEN, J. O.; HALL, Tyson S. An Introductory digital design course using a low-cost autonomous robot .Ieee Transactions on Education, vol. 45, no. 3, August, 2002

PIERI, E. Roberto . Curso de Robótica Móvel. Florianópolis: Ufsc, 2002. 141 p. Disponível em: <[ftp://ftp.unilins.edu.br/pacheco/RobosMoveis/p1/robotica\\_movvel.pdf](ftp://ftp.unilins.edu.br/pacheco/RobosMoveis/p1/robotica_movvel.pdf)>. Acesso em: 06 abr. 2011.

PIO, José L. de Souza; CASTRO, Thais H. Chaves ; CASTRO Jr, Alberto N. de. A Robótica Móvel como Instrumento de Apoio à Aprendizagem de Computação. Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal do Amazonas. Disponível em: <http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/sbie/2006/020.pdf>. Acesso em: 05 abril 2013.

## **MOBILE ROBOT WITH CONTROL IN A BOARDED MICROCONTROLLER AS A TEACHING TOOL**

**Abstract:** *To take aim at building a tool for teaching in a mobile robots course, it is proposed in this paper the development of a mobile robot with the ability for autonomous navigation in any environment which diverts when find obstacles. The control of the robot's movements is performed by a microcontroller – AVR atmega8. Proximity sensors, positioned at the front and sides of the robot, inform the proximity of obstacles and the embedded microcontroller takes the decisions properly scheduled, working at the motors, avoiding the collision. The robot's movements are performed by two stepper motors. The tasks of navigation and obstacle avoidance were described using a flowchart and the experimental results of the project were showed in a maze, performed in the laboratory. Through this project the student in a course of robots have the ability to streamline his learning and apply the various concepts covered in the course by using a prototype and several hardware modules.*

**Keywords:** *Microcontroller, Mobile robotics, Stepper motors, Presence sensors, Teaching Tool.*