

## ROBOT MODULAR PARA ENSAIOS DE ROBÓTICA MÓVEL

**Pedro Aparício, Paulo Alvito, Carlos Marques e Cristina Russo**

*IdMind – Engenharia de Sistemas Lda*  
*pedro.aparicio;palvito;cmarques;crusso@idmind.pt*  
*Centro de Incubação e Desenvolvimento*  
*Pólo Tecnológico de Lisboa, Lote 1*  
*1600-546 Lisboa*  
*PORTUGAL*  
*www.idmind.pt*

Resumo: Neste artigo apresentam-se um Robot Modular, construído com o objectivo de proporcionar aos investigadores e estudiosos da área da Robótica Móvel uma plataforma adequada à sua actividade. Este tipo de robot é igualmente adequado para uma utilização em ambiente escolar, em que se pretende utilizar tecnologia avançada para transmitir conhecimentos na área da Informática, da Electrónica, Mecânica e Robótica Móvel. Dada a sua modularidade, os componentes base deste robot podem ser usados para outros fins e inclusive para o controlo de outros tipos de sistemas. *Copyright © 2002 IdMind*

Palavras Chave: robot móvel; algoritmos; programação; electrónica; informática; ciência da computação

### 1. INTRODUÇÃO

Hoje em dia é ponto assente que as novas tecnologias informáticas podem ser usadas como um meio de aprendizagem eficaz. As suas potencialidades como auxiliares do ensino são grandes e muito aumentadas quando complementadas com aplicações práticas que cativem a atenção dos alunos. Verifica-se que a máxima «aprender fazendo» é um meio eficaz de transmitir conhecimento.

A IdMind é uma empresa Portuguesa, formada em 1999 que conta entre os seus elementos antigos alunos do Instituto Superior Técnico de Lisboa (IST). Contamos com uma equipa motivada, com larga experiência em várias áreas, nomeadamente: Ensino a nível Secundário e Superior; Desenvolvimento de hardware e software para robótica e Consultadoria em Sistemas de Informação.

Esta equipa desenvolveu nos últimos anos, actividade de investigação, obtendo uma formação científica que inclui mestrados na área da robótica (Aparício, 2000) e (Marques, 2001).

Apresenta-se neste artigo um robot, que pelas suas características de modularidade, se adequa especialmente a aplicações na área do ensino, quer a nível de formação base quer universitária.

O robot apresentado foi concebido para ser de fácil montagem e programação, permitindo a sua utilização por todos aqueles que estão interessados nas áreas da robótica e automação.

Este pode ser enquadrado com outras actividades, servindo de base para o desenvolvimento de capacidades como:

- 1) identificar e construir circuitos electrónicos;
- 2) entender as diferentes partes que constituem um robot móvel, nomeadamente a nível de:
  - Sensores;
  - Actuadores;
  - Unidades de controlo (microcontroladores).

3) desenvolver os seus próprios programas, levando o robot a executar um conjunto diverso de actividades.

Nas secções seguintes apresenta-se, detalhadamente, o robot circular, evidenciando-se as suas características de modularidade. São apresentadas várias aplicações construídas sobre esta plataforma.

## 2. ROBOT CIRCULAR

O Robot Circular, apresentado na Fig. 1, tem como objectivo proporcionar uma base robótica, com um custo acessível, que permita o estudo das tecnologias base envolvidas no desenvolvimento e utilização de um robot móvel.

Compreende elementos como:

- Placa de Controlo (com PIC);
- Placa de Interface Digital;
- Placa de Interface Analógico;
- Placa Programadora;
- Base circular com interface p/ diferentes sensores;
- 2 Motores Servos (adaptados);
- 7 pares emissor/receptor de infravermelhos;
- 2 sensores de contacto (micro-switches);
- 2 rodas;
- Manual técnico;

Este robot é completamente programável e, após uma adequada programação, o robot poderá, por exemplo:

- Desviar-se de obstáculos após contacto, usando os sensores de contacto;
- Fazer seguimento por infravermelhos, através de um diferenciamento claro/escuro, de uma linha pintada no chão (ver vídeo);
- Evitar de obstáculos sem contacto, através de detecção por infravermelhos;
- Fazer seguimento de uma parede, usando o nível de intensidade do reflexo de luz infravermelha.

Além disso, através do uso de outro tipo de sensores, entre os quais sensores desenvolvidos pelo utilizador, o robot poderá, por exemplo:

- Seguir um som através do uso de microfones;
- Seguir um foco de luz através do uso de foto-resistências como sensores;
- Seguir outro robot;
- Cooperar com outros robots em tarefas cooperativas de transporte de materiais.

## 3. ARQUITECTURA TÉCNICA

O sistema de controlo assenta num controlador PIC 16F876, bastante versátil e fácil de programar.



Fig. 1. Robot Circular.

Em termos de potencialidades este robot dispõe de 12 portos digitais de entradas/ saídas, 2 portos de PWM e de 5 canais de entrada analógicos. É feita a multiplexagem de um dos canais analógicos em 8, passando-se desta forma a ter 12 canais analógicos em vez dos 5 base.

O controlador poderá acomodar um módulo de comunicação por rádio frequência, disponibilizado separadamente.

Em termos de módulos, o Robot Circular possui uma base que faz o interface com o conjunto de sensores analógicos. Para além desta, possui quatro placas:

- a) a placa de interface analógico que permite o interface com mais 4 portas analógicas;
- b) a placa de interface digital que permite o interface com 11 portos digitais e mais 2 de PWM;
- c) o conjunto de controlo com o PIC;
- d) placa interface RS232.

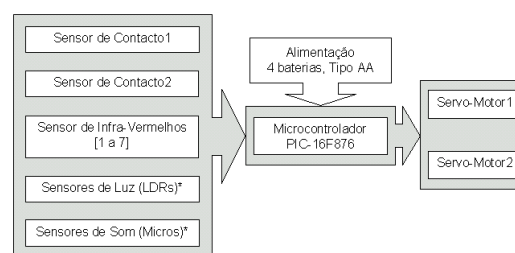


Fig. 2. Diagrama Funcional.

A Fig. 2 apresenta o diagrama funcional do robot circular. Do lado esquerdo da figura são apresentadas os vários tipos de entradas de sensores disponíveis a partida. Estes compreendem sensores de contacto, sensores de infravermelhos, LDRs e sensor de Som. Nem todos estes são incluídos no kit base.

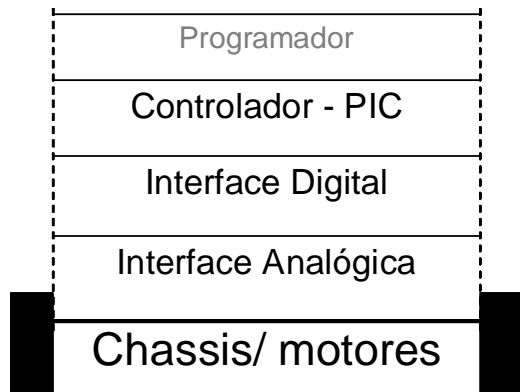


Fig. 3. Arquitectura de Hardware.

A Fig. 3 apresenta um diagrama ilustrativo da arquitectura de hardware do robot circular. Os módulos que a compreendem são:

- Placa do controlador PIC – microcontrolador PIC16F876;
- Placa de pares emissor/receptor de infra-vermelhos;
- Placa de interface digital e controlo dos actuadores;
- Base mecânica e módulo de alimentação do robot;
- Módulo de programação do controlador.

Os módulos podem ser trocados entre si, aumentando-se assim a flexibilidade global. Para além deste módulos o robot pode receber placas adicionais com outros sensores, actuadores ou até mesmo processadores adicionais.

A Fig. 4 ilustra um módulo de hardware pronto para ser colocado no «stack» de módulos que constituem a torre de expansão do robot circular.

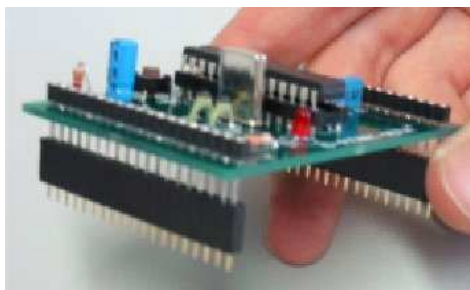


Fig. 4. Módulo da torre.

Para controlo de actuadores estão disponíveis duas saídas *moduladas em largura de impulso* (PWM – pulse wide modulation). Com estas saídas podem controlar-se actuadores de vários tipos.

Dos actuadores disponíveis no mercado, os servomotores (servos) usados no modelismo são

particularmente adequados a uma interface de controlo do tipo PWM.

As saídas de PWM podem ser ligadas directamente a servo motores. No caso de se pretenda controlar o servo em posição a ligação é directa. Caso se pretenda controlar em velocidade os servos tem que ser adaptados para tal (são incluídos dois com o *kit* base). A adaptação realizada consiste na remoção de do freio fim-de-curso do potenciómetro interno do servo e a alteração do sensor associado. Do ponto de vista eléctrico, o potenciómetro interno é substituído por duas resistências de igual valor.

Para que a placa de controlo comande cargas que exijam correntes superiores a 100mA deverá ser usado um módulo de potência adequado. Nesses casos é recomendável usar uma interface em ponte-H que possa fornecer a corrente adequada aos motores utilizados. Poderá ser necessário separar as alimentações de dados da de potência de forma a evitar que picos de corrente gerados pelos motores interfiram no funcionamento da electrónica digital. Como primeira abordagem podem ser empregues filtros supressores de ruído (p, ex, um filtro passa baixo com a adição de condensadores à linha de alimentação). No caso de separação total, a passagem dos sinais de controlo deve ser intermediada por uma interface óptica, conseguindo-se assim um isolamento galvânico.

Na versão base a placa de controlo é alimentada por quatro pilhas do tipo AA (num total de 6V). Podem ser usadas pilhas recarregáveis pois a tensão de alimentação pode variar entre os 6,5v e os 4,2v.

A Fig. 5 apresenta o diagrama eléctrico do módulo controlador do robot circular.

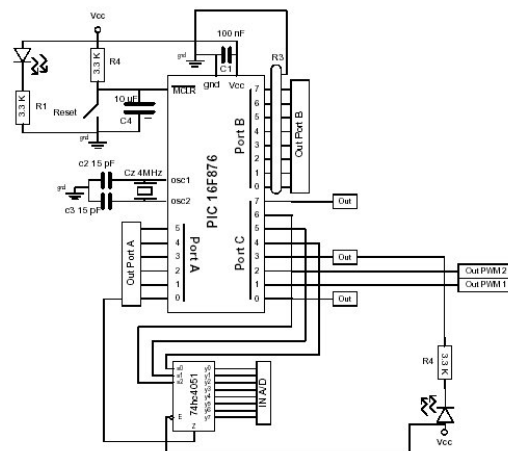


Fig. 5. Esquema Eléctrico do Módulo Controlador.

O conjunto de entradas/ saídas é expansível usando o barramento de comunicações disponibilizado na placa de circuito impresso do controlador (e disponível no barramento da torre).

#### 4. PROGRAMAÇÃO DO ROBOT

O robot poderá ser programados através do uso de uma linguagem de baixo nível, tipo assembly, ou então através do uso de uma linguagem visual de alto nível, onde o programador se limitará a introduzir conjuntos de blocos numa janela de trabalho e a ligar esses blocos de uma maneira lógica. Esta linguagem de programação por blocos resulta de um esforço de desenvolvimento da IdMind e é disponibilizada de forma gratuita juntamente com o *kit*.



Fig. 6. Aplicação para fazer download de programas

Na Fig. 6 apresenta-se uma imagem do ecrã principal da aplicação desenvolvida para fazer o download dos programas para o microcontrolador. Esta aplicação usa uma porta série do PC como canal para a transferência. Encontra-se em desenvolvimento uma versão USB.

O código máquina que é descarregado para o controlador pode ser gerado em qualquer compilador de assembly do PIC. A Microchip disponibiliza o seu ambiente, de forma gratuita, no site Internet [www.microchip.com](http://www.microchip.com). Este ambiente para além do compilador inclui ainda um simulador e um *linker*.

A Fig. 7 apresenta o ambiente de trabalho disponibilizado pela ferramenta de programação em blocos. Esta linguagem permite o desenvolvimento de aplicações de forma simples e rápida.

Com a estrutura de programa do tipo fluxograma torna-se bastante simples implementar máquinas de estado em que para as várias situações previsíveis se prepara uma resposta. Outros tipos de controlador também são possíveis.

O modo de programação por blocos é mais usado pelos alunos com menos conhecimentos de programação pois é mais simples que o Assembler.

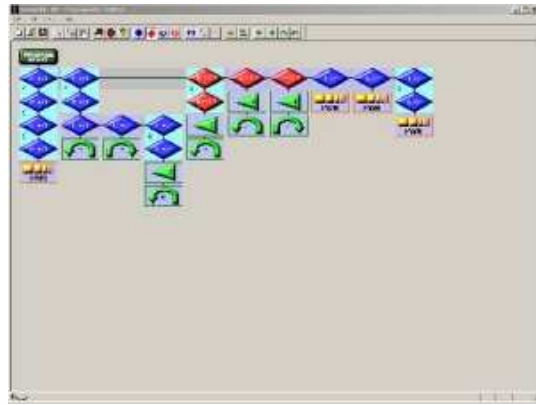


Fig. 7. Aplicação para desenvolvimento de software usando uma linguagem gráfica - tipo fluxograma

Entre os comandos disponíveis incluem-se:

- temporizadores;
- comparadores;
- operadores algébricos;
- estruturas de controlo de fluxo;
- comandos para ligar/ desligar actuadores.

Uma das grandes vantagens deste tipo de programação é a legibilidade dos programas. Com uma ferramenta deste tipo torna-se muito fácil e intuitivo explicar o funcionamento de um algoritmo usado para o controlo de um robot.

Para ajudar ao desenvolvimento das aplicações e sistemas a IdMind disponibiliza um programa que permite fazer a leitura, em tempo real, dos valores presentes nos sensores do robot. Esta ferramenta é apresentada na Fig. 8.

Com esta consegue-se ter na mesma janela toda a informação sensorial. Esta revela-se de grande valia para o ajuste de limiares analógicos dos vários sensores. É muito útil por exemplo para ajustar os níveis de detecção do nível de cinzento nos jogos de futebol robótico.

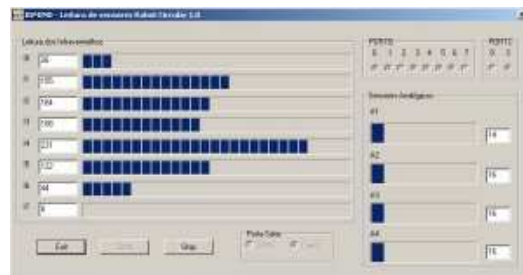


Fig. 8. Aplicação para fazer testes aos sensores de um robot

Para além dos valores dos sensores analógicos também são apresentados os valores dos sensores digitais.

## 5. APLICAÇÕES DO ROBOT CIRCULAR

Os *kits* robóticos da IdMind têm vindo a ser usados com grande sucesso em várias actividades. Entre estas destacam-se a participação de equipas em competições de robótica (usando *kits* robóticos IdMind).

Têm também sido usados no desenvolvimento de *workshops* em que alunos de escolas secundárias constroem e programam robots móveis. Os workshops desenvolvidos nos três últimos anos no ISR em Lisboa envolveram várias escolas e várias turmas de alunos do ensino secundário. Nessas actividades foram usados *kits* robóticos IdMind.

É ainda relevante o número de robots futebolistas já construídos com esta base. Seguidamente apresenta-se a forma como a base do robot circular tem sido usada para construir esse tipo de robot.

Como foi referido, o Robot Futebolista é um bom exemplo da forma como o robot circular pode ser complementado com módulos adicionais para o adaptar a novas situações. Muitas outras utilizações que podem ser dadas a estes conjuntos. Outra aplicação é, por exemplo, a utilização do robot circular para seguimento de uma linha e evitar obstáculos através da montagem de IVs na placa de base. Na Fig. 9 apresenta-se uma fotografia de um robot futebolista.

Nesta aplicação o robot circular foi adaptado de forma a poder ser usado como robot futebolista em jogos de futebol robótico.

No âmbito dos workshops realizados no ISR/IST foram já construídos Robots Futebolistas para os eventos na área da robótica Robótica2003 e RoboCup2004. Ver a página indicada no URL seguinte para mais informação acerca das actividades <http://lci.isr.ist.utl.pt/projects/educational/cvnaferias/index2002.html>.

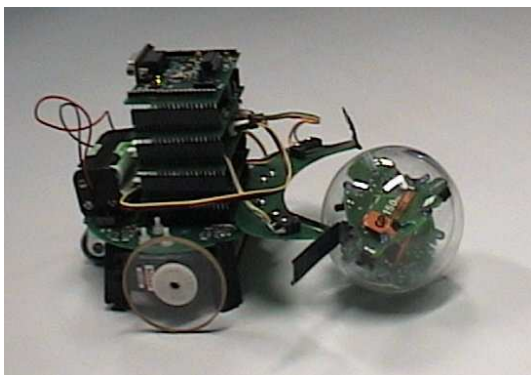


Fig. 9. Robot Futebolista.

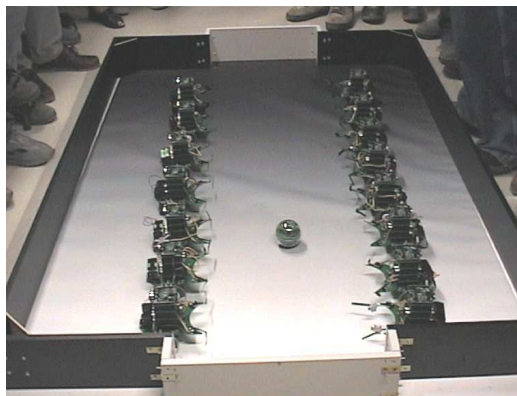


Fig. 10. Campo e Equipas de Futebol Robótico.

O ambiente criado para os jogos de futebol robótico consiste num campo com 183x122cm onde o chão é pintado num gradiente de cinzentos que varia linearmente entre as duas balizas. Tendo em conta que o gradiente possui 255 níveis de cinzento e que o campo tem 183 cm de comprimento tem-se uma variação de nível de 1,39 por cada centímetro (resulta de 255/183).

Na Fig. 10 apresenta-se um campo de futebol robótico em que se preparam para jogar 7 equipas (cada equipa tem 2 jogadores), num torneio emocionante. O gradiente de cinzento presente no chão do campo é visível apesar do ângulo com que foi tirada esta fotografia.

A adaptação do robot a estas condições compreendeu, entre outras alterações, 4 pares de sensores/receptores dispostos numa forma quadrangular na base do robot, apontando para o chão. A disposição dos quatro pares de emissores/receptores equivale à sua colocação nos vértices de um rectângulo de 7,5x9,5cm (7,5 entre um sensor da frente e um detrás). Tendo em conta estes dados e o facto de se conhecer o gradiente, consegue-se, com alguns testes, determinar a direcção do movimento em relação às coordenadas do campo.

São usados quatro de leds emissores de luz verde para iluminar o chão e LDRs como receptores. O conjunto LED + LDR é coberto por uma cortina de cartolina para que não sofra interferência de fontes de luz exteriores. Com esse mesmo objectivo, o conjunto é montado tão próximo do chão quanto possível.

Em condições de iluminação não ideais, é necessário comparar amostras obtidas em tempos diferentes para se ter uma ideia da direcção de movimentação. Por outro lado, e tendo em conta que o gradiente só varia segundo uma direcção esta amostragem é necessária para se calcular a orientação do robot no espaço.

Mantendo a velocidade constante e medindo a diferença entre amostras em tempos diferentes torna-se muito fácil determinar situações em que o robot está a andar paralelamente às linhas laterais do campo ou não. A diferença entre o valor das amostras obtidas nos sensores da frente e os de trás vai diminuindo à medida que o robot vai estando inclinado em relação às linhas laterais, sendo nula quando está ortogonal em relação à linha que liga as balizas.

A detecção das paredes tem sido feita com sensores de contacto, mas poderiam ser utilizados outros tipos de sensores (ultra sónicos por exemplo, ou foto-resistências).

A bola de jogo tem, no seu interior, emissores de infra-vermelho. Dessa forma, procurando-se uma fonte de infra-vermelhos no campo, consegue-se determinar a direcção em que se encontra a bola. Para tal são usados três detectores de infra-vermelhos na frente do robot.

O conjunto de alterações ao modelo base compreende:

- adição de um dispositivo, à frente, para orientar a bola;
- reposicionamento dos sensores de contacto;
- reposicionamento dos leitores de infravermelhos à frente, de forma a detectar a presença da bola;
- a adição de sensores de luz (quatro) a apontar para o chão de forma a conseguir detectar a cor do chão;
- adição de leds verdes a apontar para o chão, iluminando o campo.

Com estas alterações o robot ficou pronto para utilização no âmbito dos jogos de futebol robótico. Resta a programação do mesmo para que este passe a jogar uma partida.

Em seguida apresenta-se um exemplo de comportamento baseado em estados que foi programado para um robot futebolista:

1 - Assim que é ligado, o robot dirige-se para uma posição de defesa, isto é, para uma zona em que o nível de cinzento corresponde a cerca de 20 cm da nossa baliza.

2 - Chegado a essa posição o robot dá duas voltas à procura da bola, (pode ser usado um temporizador para, usando uma velocidade constante, dar voltas completas). Se detectar uma bola vai para o estado 3. Se não encontrar, volta para o passo 1. Pode, em alternativa, aguardar alguns segundos e voltar a procurar a bola.

3 -O robot avança para a bola até a ter perto. O nível de infra-vermelho detectado nos sensores da frente pode ser usado para determinar a distância aproximada à bola. Chegando a um ponto em que a bola está perto, verificar a distância estimada à baliza adversária (em função das leituras feias com os sensores de chão). Poderá verificar-se uma das seguintes condições: a) está longe da baliza, b) está

muito perto da baliza sem a bola, c) está perto da baliza com a bola, d) e e) está perpendicular ao campo com a bola (d -com a baliza à sua direita, e) com a baliza à sua esquerda), f) avança com toda a velocidade para a nossa baliza.

Em função da condição verificada, executar a acção:

- a) continua a avançar até chegar a c) ou b)
- b) deve estar perto a entrar pela baliza do adversário, volta para 1)
- c) chuta e volta para a posição de defesa
- d) vira rapidamente para a direita atirando a bola para a sua direita
- e) vira rapidamente para a esquerda atirando a bola para a sua esquerda
- f) parar, rodar um pouco e avançar para tentar passar pela bola e tentar apanhar a bola pela perpendicular d) ou e)

Em simultâneo deve ir-se verificando se há colisão com as paredes, com ou sem a bola. Se se colidir com a parede enquanto se tem a bola, rodar no sentido da baliza adversária. Caso contrário, andar um pouco para trás e voltar ao estado em que estava antes.

Na implementação é importante que se usem algumas técnicas para melhorar o comportamento do robot. Estas permitem uma transição mais suave entre estados. Um bom exemplo é o caso em que o robot está a ver a bola e a deixa de ver, sendo a oclusão apenas momentânea. Caso não se procure minimizar a transição, o robot passa para um estado de procura de bola assim que a bola deixa de estar visível. Nesse caso um *truque* consiste em continuar com o movimento anterior durante algum tempo (0,5 a 1,5 segundos). Nesse intervalo, se se voltar a detectar a bola deve manter-se o movimento de seguimento. Se não voltar a aparecer, deixar de fazer o movimento anterior e iniciar uma busca da bola (rodando ou indo para uma posição de defesa).

Em termos de localização do robot no campo, existem outras soluções mais adequadas a uma localização precisa, como é mostrado em (Marques e Lima, 2001). No entanto as soluções baseadas em visão robótica tem grandes exigências a nível de computação, que não são compatíveis com o disponibilizado pelo controlador usado. Outros métodos como a localização por Laser, exigem equipamentos volumosos e pesados que não podem ser suportados por robots deste tamanho.

## 6. PROJECTOS EM CURSO

Quanto a projectos em curso através da utilização do Hardware Base empregue no robot circular temos como referência o projecto ARTSBOT (ARTistic Swarm roBOTs project) cujo objectivo consiste na criação de um *swarm* de robots capaz de produzir autonomamente pinturas e desenhos (ver página do

projecto em:  
<http://alfa.ist.utl.pt/~cvrm/staff/vramos/Artsbot.html>).

O Hardware Base está também a ser utilizado num robot que irá ser utilizado no âmbito do "e-lab". O "E-Lab" é um espaço onde poderão ser realizadas experiências reais através da Internet. As experiências estão montadas e instaladas fisicamente num laboratório do IST. Este projecto consiste na interacção via web com um robot. A interacção com o robot é feita através de uma aplicação JAVA que possibilitará ao utilizador programar o robot à distância. Localmente o robot possui um módulo de comunicação rádio bidireccional que lhe permite receber de um PC os programas do utilizador e por outro lado enviar para o utilizador os sinais "vistos" pelos seus sensores. site:  
<http://www.e-escola.utl.pt/site-bin/index.html>

## 7. CONCLUSÃO

Apresenta-se neste artigo uma plataforma robótica com características de modularidade que a tornam ideal para o estudo da robótica móvel. Esta plataforma tem sido usada em vários projectos e tem sofrido alterações para permitir o seu uso em aplicações específicas como o futebol robótico.

A IdMind mantém um acompanhamento junto dos utilizadores do robot no sentido de recolher comentários para usar em melhoramentos do robot. Verifica-se que a experiência dos utilizadores é muito positiva, destacando-se a fiabilidade, capacidade de interface e a facilidade de operação desta plataforma robótica.

Os projectos em curso atestam a modularidade desta plataforma, mostrando claramente que muitos usos existem para esta base.

## REFERÊNCIAS

- Aparício, Pedro (2000)  
*Design and Implementation of a Population of Cooperative Autonomous Robots*, MSc. Thesis, Instituto Superior Técnico, Lisboa
- Marques, Carlos (2001)  
*Multi-sensor Navigation for Soccer Robots*, MSc. Thesis, Instituto Superior Técnico, Lisboa
- Marques, Carlos and Lima, Pedro (2001)  
*A Localization Method for a Soccer Robot Using a Vision-Based Omni-Directional Sensor*, RoboCup 2000 Book, Springer-Verlag, Berlin,