

## CONSTRUÇÃO DE UM ROBÔ MÓVEL COMO PLATAFORMA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE MICROCONTROLADORES

**Liondely Stephan de Souza Pimentel** – [liondely@hotmail.com](mailto:liondely@hotmail.com)

**João Antônio Campos Panceri** – [joaopanceri@hotmail.com](mailto:joaopanceri@hotmail.com)

**Rafael Campos Panceri** – [rafaelpanceri@hotmail.com](mailto:rafaelpanceri@hotmail.com)

**Marco Antonio Quadros Leite de Souza** – [marcoantonio@ifes.edu.br](mailto:marcoantonio@ifes.edu.br)

**Gustavo Maia de Almeida** – [gmaia@ifes.edu.br](mailto:gmaia@ifes.edu.br)

**Rogério Passos do Amaral Pereira** – [rogeriop@ifes.edu.br](mailto:rogeriop@ifes.edu.br)

*Instituto Federal do Espírito Santo.*

*Rodovia ES-010 - Km 6,5 - Manguinhos*

*29173 - 087 - Serra – ES*

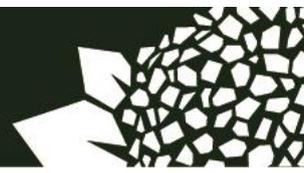
**Resumo:** *Nos últimos anos a robótica móvel tem se destacado como um tema de estudo entre os estudantes e pesquisadores; entretanto, a falta de ambientes práticos para os testes dos estudos limitam os avanços dessa área no Brasil. Este fato motivou a criar um robô móvel como plataforma didática para o ensino de microcontroladores e assim provocar maior interesse e motivação aos alunos do curso de engenharia de controle e automação do IFES/Campus Serra. O robô móvel proposto possui três rodas, uma livre e duas outras movidas por motores. Um microcontrolador da família PIC32 é utilizado para adquirir os sinais dos encoders e para controlar a velocidade das rodas. Uma característica importante do robô proposto é a capacidade de levar pesos de até 20 Kg aproximadamente e de ter uma autonomia elétrica de 4 horas, características que permitem incrementar equipamentos para trabalhos futuros. Neste trabalho são mostrados resultados de simulação e também práticos com o objetivo de enriquecer e relacionar o conhecimento teórico ao prático.*

**Palavras-chave:** *robô móvel, microcontrolador PIC32, PWM, encoder.*

### 1. INTRODUÇÃO

O campo da robótica móvel vem ganhando espaço, pois ao contrário dos manipuladores robóticos, um robô móvel pode se deslocar, deixando de fazer apenas tarefas em que o robô precisa estar fixo em um local. Esses robôs vêm se destacando em diversas aplicações, tais como: polir superfícies, patrulhar áreas, desativar bombas, cortar grama, aspirar pó, fazer *tours* em museus, guiar pessoas em supermercados, transportar materiais, buscar minas terrestres, localizar destroços submarinos, entre outros (SIEGWART e NOURBAKSH, 2004).

Geralmente nas aplicações da robótica móvel necessita-se de um controle de trajetória. E isso resulta no interesse do controle de trajetória de robôs móveis que vem se incrementando; existem muitos trabalhos publicados (FIERRO e LEWIS, 1995 e 1998; KUKAO e NAKAGAWA, 2000; ORIOLO et al, 2002). Em JUN YE (2008) as abordagens de controle de trajetória foram divididas principalmente em seis tipos:



linearização por realimentação de estados, modos deslizantes, *backstepping*, *compute torque*, controle adaptativo e controle inteligente.

Além disso, a robótica também tem sua parcela de importância para a educação. Conforme SANTOS e MENEZES (2005), a Robótica Educacional pode ser definida como “um ambiente onde o aprendiz tenha acesso a computadores, componentes eletromecânicos (motores, engrenagens, sensores, rodas etc.), eletrônicos (Interface de *hardware*) e um ambiente de programação para que os componentes acima possam funcionar”. A Robótica Educacional é considerada uma área essencialmente interdisciplinar (N. M. FRANSICO JÚNIOR *et al.*, 2010). Em um ambiente pedagógico composto por dispositivos robóticos há o constante diálogo de diversas disciplinas como a matemática, a física, a psicologia, a medicina, a computação, dentre outras. Para D'ABREU (1999), ao elaborar-se um ambiente de aprendizagem baseado no uso de dispositivos robóticos, pode-se dar tanto o enfoque técnico-industrial quanto o pedagógico-educacional.

Neste sentido o presente artigo propõe a construção de uma plataforma didática que seja multidisciplinar, que motive os alunos e professores e que envolva o uso de microcontroladores. Assim a aplicação escolhida foi a construção de um robô móvel controlado por um microcontrolador, porque reúne certas características interessantes para o ensino de microcontroladores relacionado com outras disciplinas do curso de engenharia de controle e automação, como são: eletrônica, controle de processos, instrumentação, robótica, programação entre outros.

Este artigo está organizado em quatro seções. Na seção 2 é descrito o modelo cinemático do robô móvel usado neste trabalho, com esta informação o aluno poderá simular o comportamento de um robô e facilitar o entendimento dos resultados práticos. Na seção 3 comenta-se sobre a construção da estrutura do robô, a instrumentação, os atuadores e sobre o microcontrolador usado no robô móvel. Finalmente na seção quatro conclui-se sobre este artigo.

## **2. MODELO CINEMÁTICO DO ROBÔ MÓVEL**

A configuração do robô móvel utilizado neste trabalho é mostrada na

Figura 1 e possui duas rodas motoras e uma roda livre.

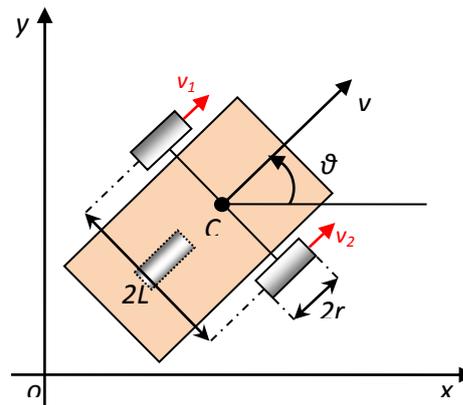


Figura 1- Configuração do robô móvel não-holonômico

As duas rodas motoras são idênticas, com rádio  $r$ , e possuem atuadores independentes, sendo a distância entre as rodas de  $2L$ . As coordenadas  $q = [x, y, \theta]^T$  definem a configuração e sua localização no eixo cartesiano, onde  $\theta$  é a inclinação do robô.

O centro de massa do robô móvel está localizado no ponto C. Caso a velocidades das duas rodas seja idêntica ( $v_1=v_2$ ) o deslocamento do robô será em linha reta; se a velocidade da roda direita ( $v_2$ ) for menor do que a roda esquerda ( $v_1$ ) o robô se deslocará em forma circular em sentido horário; caso a velocidade da roda direita ( $v_2$ ) seja maior, o robô se deslocará também em forma circular em sentido anti-horário. Entretanto, o robô descrito não pode executar movimentos transversais, sendo necessário executar manobras, este tipo de robô com restrições de movimento são denominados de não-holonômicos. Tais sistemas são, por conseguinte, também conhecidos como sistemas não-integráveis. Uma característica fundamental destes sistemas é que eles não podem passar diretamente de uma configuração para outra - eles devem realizar uma manobra ou seqüência de movimentos (Corke, 2011).

Este modelo é referido como um modelo cinemático, uma vez que descreve as velocidades do veículo, mas não as forças ou torques que causam a velocidade.

A equação 1 representa o modelo cinemático do robô móvel.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(t) \\ w(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

onde  $v$  e  $w$  são as velocidades linear e angular, respectivamente.

O modelo foi implementado no Simulink (Figura 2) para poder mostrar didaticamente qual seria a resposta em malha aberta do robô móvel.

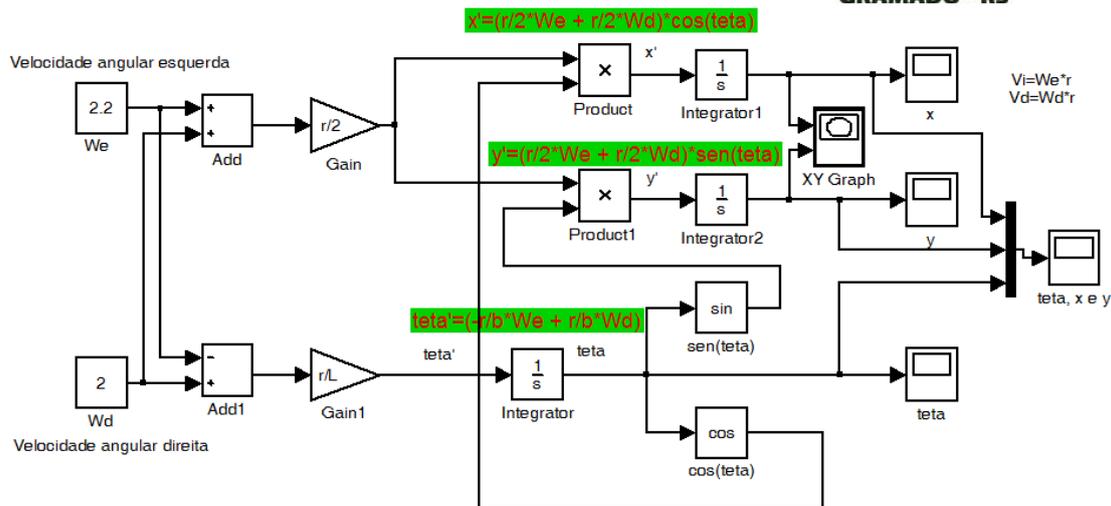


Figura 2- Modelo de um robô móvel diferencial no Simulink

Na literatura podem ser encontradas outras formas de representar este modelo usando as equações (2, 3, 4 e 5).

$$v_1 = w_1 r \quad (2)$$

$$v_2 = w_2 r \quad (3)$$

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (4)$$

$$w = \frac{v_2 - v_1}{L} \quad (5)$$

onde  $w_1$  e  $w_2$  são as velocidades angulares das rodas direita e esquerda, respectivamente.

Na Figura 3 pode-se observar a resposta do modelo para duas situações diferentes, quando a velocidade angular esquerda é maior o robô móvel se desloca em forma circular para a esquerda e quando a velocidade angular direita é maior o robô se desloca circularmente para a direita.

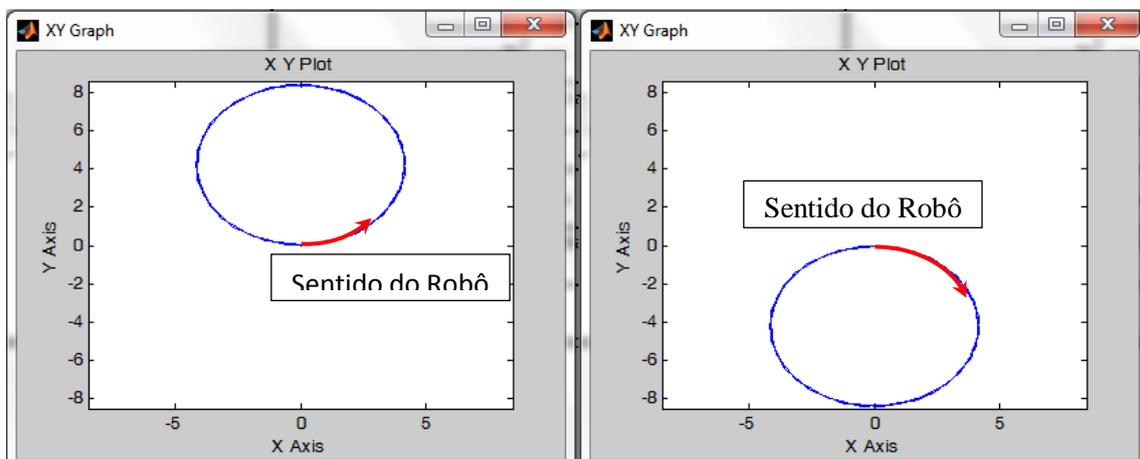


Figura 3- Trajetória do robô móvel a)  $w_e=2,2$  e  $w_d=2$ , b)  $w_e=2$  e  $w_d=2,2$

### 3. CONSTRUÇÃO

Para poder determinar a estrutura física do robô primeiro serão citadas algumas considerações.

- Determinar a velocidade média do robô móvel, para isto será considerada a velocidade média de uma pessoa normal caminhando. O valor aproximado escolhido foi de 1,2 m/s. Para atingir aproximadamente essa velocidade foi usado um motoredutor de 160 RPM e rodas pneumáticas de 6 polegadas de diâmetro.
- Determinar a capacidade de carga do robô móvel. Para determinar o torque aproximado do motor usou-se como exemplo o torque usado em robôs comerciais com capacidade de carga de até 40 Kg, considerando a estrutura do robô. O valor usado do torque para a escolha do motor foi de 24 Kgf.cm.
- A escolha da bateria, para disponibilizar autonomia ao robô na ordem de algumas horas. Foi escolhida uma bateria estacionária de 12 V e de 40Ah e com um peso aproximado de 11 Kg.
- O microcontrolador usado neste trabalho foi um PIC da família de 32 bits, que será detalhado mais adiante.

Para auxiliar na construção da estrutura mecânica do robô utilizou-se uma ferramenta de software 3D, o SolidWorks®, através do qual foi feito o desenho e dimensionamento do sistema roda-eixo-motor-acoplamento, como pode ser mostrado Figura 4.

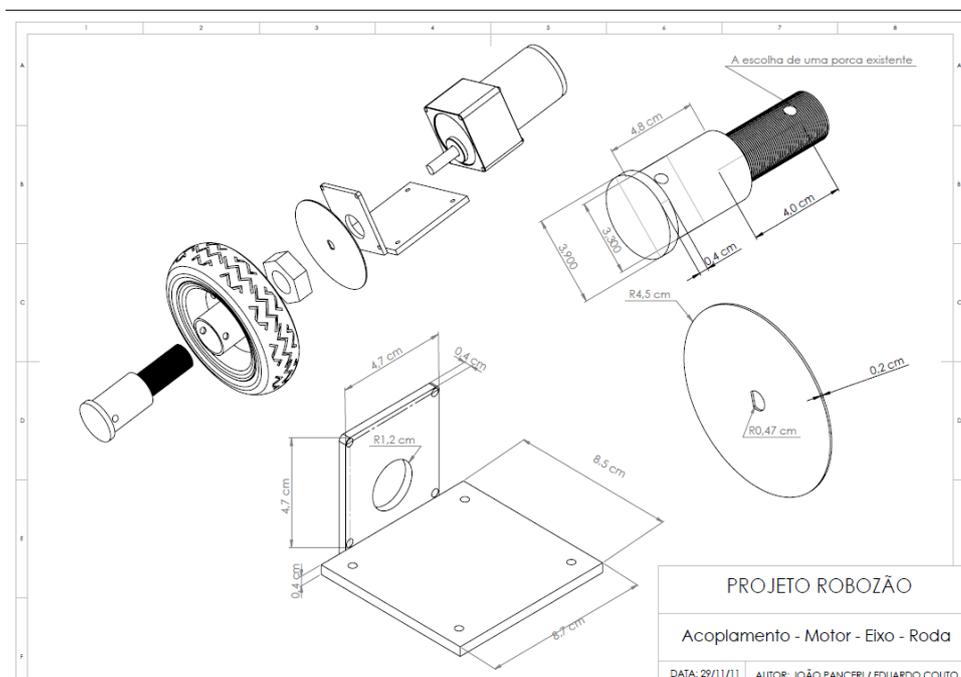


Figura 4- Projeto Roda/Eixo/Fixação

Após feito o desenho do sistema roda-eixo-motor-acoplamento foi executada a usinagem das peças do sistema. Em seguida foi feita a estrutura que sustenta os vários componentes do robô numa serralheria, ficando o robô como se pode ver na Figura 5.



Figura 5 – Foto do Robô

Vale dizer que o robô possui uma tampa que foi retirada para que a estrutura fosse visualizada com mais detalhes, também pode-se ter uma vista panorâmica da estrutura do robô, mostrando a bateria acoplada à estrutura do robô, a plataforma do PIC juntamente com a placa de potência, bem como o sistema roda-eixo.

### 3.1. INSTRUMENTAÇÃO

Para a medição da velocidade do robô foi instalado no eixo de cada motor uma placa de metal em forma de disco e nesta placa foi colada a imagem mostrada na Figura 6.

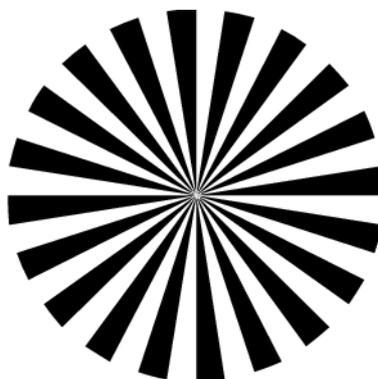


Figura 6 – Adesivo para encoder

Acoplada a esse sistema instalou-se um encoder modelo Pololu Wheel como se mostra na Figura 7.

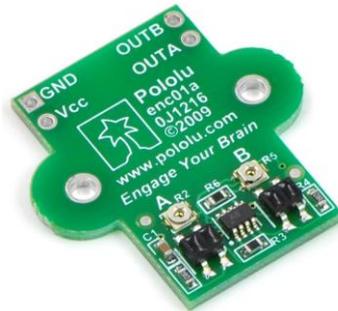


Figura 7– Encoder Pololu Wheel

A placa de metal em forma de disco está preso ao eixo do motor, assim seu movimento é rotacional, o encoder tem um emissor e um receptor infravermelho que estão fixos na estrutura do robô (Figura 8). Quando o emissor emite a luz na cor branca o sinal no receptor é de 5 volts, e quando o receptor emite na cor preta o sinal do receptor para o PIC é de 0 volts. Assim, pulsos a velocidade angular será medida pela quantidade de pulsos. A frequência do pulso é diretamente proporcional ao número de rotações no intervalo de tempo, e ao número de faixas pretas/brancas intercaladas ao longo do disco.



Figura 8 – Sistema Encoder

## 3.2. ATUADORES

### 3.2.1. SINAL PWM

Os controles de potência, inversores de frequência, conversores para servomotor, fontes chaveadas e muitos outros circuitos utilizam a tecnologia do PWM (Pulse Width Modulation) ou Modulação de Largura de Pulso como base de seu funcionamento. Com essa técnica podemos controlar a potência de um motor, variando a largura de um pulso, permitindo assim mudar a potência entregue ao motor. A Figura 7 ilustra alguns gráficos com ciclos ativos diferentes, ou seja, porcentagens diferentes em que o sinal permanece em nível alto em relação ao seu período.

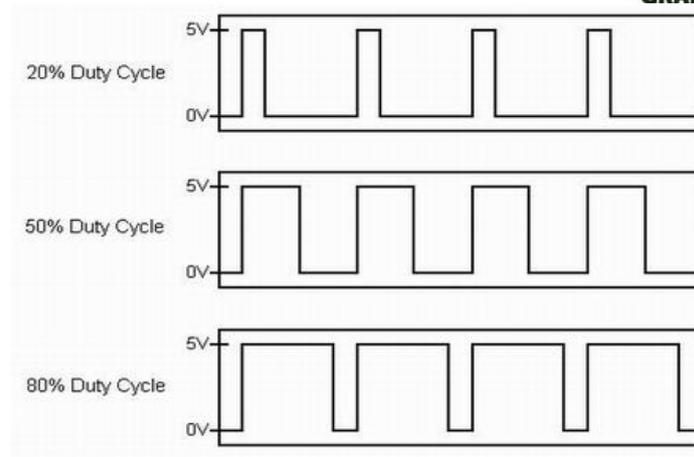


Figura 9 – PWM

### 3.2.2. CIRCUITO DE POTÊNCIA

Devido às exigências de corrente e tensão do motor utilizado no projeto, tivemos que optar por um circuito de potência do modelo MD03A da Pololu, conforme a Figura 10.

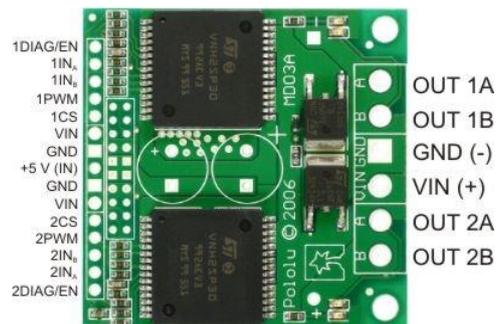


Figura 10– Circuito de Potência

Nesse circuito podemos controlar uma tensão máxima de saída de até 16 Volts além de uma corrente máxima de 30 Amperes por cada canal a partir de um sinal de controle de 5 V com uma frequência de até 20 KHz.

### 3.3. MICROCONTROLADOR

A placa chipKIT MAX 32 (Figura 11) baseada no microcontrolador PIC32MX795F512 foi escolhida para o desenvolvimento desse projeto por suas características diferenciadas e por ser um hardware de alta performance. Este microcontrolador trabalha com até 80 MHz, suporta até 512 KB de memória Flash e até 128 KB de RAM, sendo atualmente um dos microcontroladores de mais alto desempenho da sua classe. Assim, este microcontrolador facilitará a implementação de possíveis trabalhos futuros.

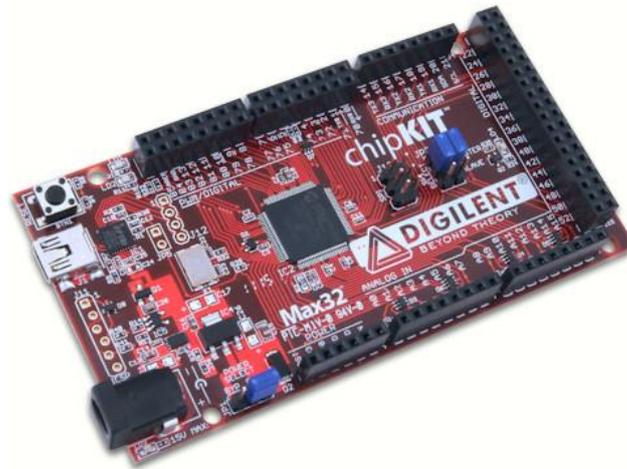


Figura 11 – Placa de Desenvolvimento PIC32

A escolha de se trabalhar com o PIC32 se torna mais um desafio ao aluno, visto que, normalmente o ensino de microcontroladores não se baseia nesse microcontrolador, justamente por ser uma ferramenta relativamente nova no mercado. No entanto, seu estudo se torna extremamente importante, em razão de sua tecnologia avançada, com inúmeras possibilidades, muitas vezes não disponíveis nos microcontroladores de versões anteriores.

#### 4. RESULTADOS PRÁTICOS

Assim como na simulação no comportamento do modelo cinemático de um robô móvel não holonômico mostrado na Figura 3, também foram feitos testes no robô móvel após finalizar a construção deste e a programação básica no PIC32 apenas com o controle PWM dos motores direito e esquerdo. A Figura 12 mostra a resposta do robô móvel para o caso de diferentes velocidades das rodas e a Figura 13 mostra a resposta do robô móvel para o caso em que as velocidades das duas rodas são iguais.

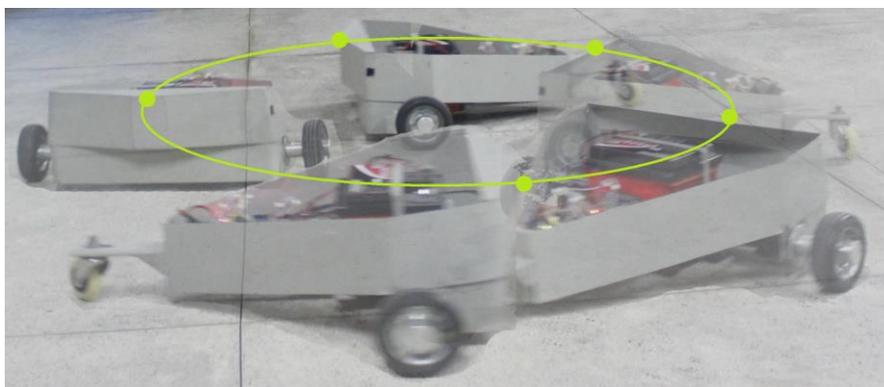


Figura 12 – Trajetória circular do robô móvel



Figura 13 – Trajetória em linha reta do robô móvel

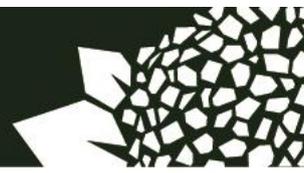
## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância de um ensino prático em disciplinas como Instrumentação, Robótica e Microcontroladores, se mostra como fator motivante para a construção dessa plataforma didática, pois nela será possível tanto ao professor, quanto ao aluno, aplicar o conhecimento teórico, de forma prática e empolgante. Alguns conceitos que poderão ser levados à prática de forma mais objetiva são: medição de velocidade, controle de velocidade usando a modulação por largura do pulso, comunicação serial entre o microcontrolador e o computador usando programas como o MatLab e/ou LABView, entre outros. Assim, o aluno do décimo período da engenharia de controle e automação poderá integrar os conhecimentos, habilidades e competências adquiridos ao longo do curso.

Acreditamos que a escolha dos materiais usados na construção desse robô agrega ainda mais valor ao projeto final, Figura 14, visto que tanto na parte estrutural quanto na escolha do motor, fatores como resistência, capacidade de carregar cargas maiores, foram fatores de extrema relevância. Na parte eletrônica do projeto, a escolha do encoder apresentou ótimos resultados já que mostrou relativa precisão na medição da velocidade das rodas, mesmo sendo um encoder de simples implementação, o que facilita ainda mais a compreensão do aluno. O circuito de potência para o acionamento também foi escolhido pela robustez e pela facilidade de uso. A escolha da placa de desenvolvimento ChipKIT também apresenta uma importante contribuição para o projeto, porque além da sua alta capacidade, devido ao PIC32, ela ainda possui a opção de ser programada da mesma forma que um Arduino, tecnologia bastante difundida entre estudantes de engenharia.



Figura 14 – Projeto Final



Como próximo passo para o desenvolvimento da plataforma didática, outros sensores como ultrassom, Câmera, GPS poderão ser acoplados ao robô, dando-lhe maiores possibilidades para implementação de técnicas de controle. Atualmente está sendo desenvolvido o controle de velocidade de cada roda, a partir da técnica de controle Clássico PID, no entanto as possibilidades de estudos e de programação para essa plataforma são muito grandes, e esperamos que esse trabalho possa contribuir com inúmeros outros alunos. Com a experiência adquirida na construção desse protótipo, espera-se desenvolver outros robôs que possam proporcionar um melhor ambiente de ensino para os alunos e assim atender turmas numerosas.

## 6. REFERÊNCIAS

*CORKE, P. Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB. Capítulo 4, p. 66-67, Springer, 2011.*

*D'ABREU, J. V. V. Desenvolvimento de Ambientes de Aprendizagem Baseados no Uso de Dispositivos Robóticos. Anais do X Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – SBIE99. Curitiba, PR, 1999.*

*FIERRO, R.; LEWIS, F.L. (1995). Control of A Nonholonomic Mobile Robot: Backstepping Kinematics Into Dynamics, in: Proceedings of the 34th IEEE Conference on Decision and Control, Piscataway, NJ, IEEE Press, USA, 1995, pp. 3805–3810.*

*JUNG YE (2008). Tracking Control for Nonholonomic Mobile Robots: Integrating The Analog Neural Network Into The Backstepping Technique. Neurocomputing 71 (2008) 3373-3378.*

*KUKAO, T.; NAKAGAWA, H.; ADACHI, N. (2000). Adaptive Tracking Control of A Nonholonomic Mobile Robot, IEEE Trans. Robotics Automation 16 (2000) 609–615.*

*N. M. FRANSICO JÚNIOR; VASQUES, C. K.; T. H. A FRANSISCO. Robótica Educacional e a Produção Científica na Base de Dados da CAPES. Revista Electrónica de Investigación y Docencia, n. 4, p. 35-53, 2010.*

*ORIOLO, G.; LUCA, A.D.; VENDITTELLI, M. (2002). WMR Control Via Dynamic Feedback Linearization: Design, Implementation and Experimental Validation, IEEE Trans. Control Syst. Technol. 10 (2002) 835–852.*

*SANTOS, C. F.; MENEZES, C. S. A Aprendizagem da Física no Ensino Fundamental em um Ambiente de Robótica Educacional. Anais do XI Workshop de Informática na Escola, do XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, São Leopoldo, RS, 2005.*

*SIEGWART, R; NOURBAKHSI, I. (2004) Introduction to Autonomous Mobile Robots. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA.*



## **CONSTRUCTION OF A MOBILE ROBOT AS A DIDACTIC PLATAFORM FOR TEACHING MICROCONTROLLERS**

**Abstract:** *In recent years the mobile robotics has emerged as a topic of study among students and researchers, however, the lack of practical environments for testing studies limited progress in this area in Brazil. This motivated to create a mobile robot as a learning platform for teaching microcontrollers and thus lead to greater interest and motivation among students of control engineering and automation of the IFES / Campus Serra. The proposed mobile robot has three wheels, one free and two others moved by motors. A microcontroller family PIC32 is used to acquire signals from the encoders and to control the speed and the wheels. An important feature of the proposed robot is the ability to carry loads up to about 20 kg and having an electric range 4 hours to increase equipment, features that allow for further work. In this paper simulation results are shown and also practical, with the goal of enriching and relate the theoretical knowledge to the practical.*

**Key-words:** *robot of three wheels , microcontroller PIC32 , encoder.*