



Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos



**XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP**  
Artigo CREEM2012

## **PROJETO DO ROBÔ FIONA PARA APLICAÇÃO EM CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO**

**Bruno de Melo Nogueira, Filipe Borges Marra, Heitor Moraes Campoli, Thomas Vergutz, Vitri Fava de Sousa, Luis Otavio Bras Tenani e Rogério Sales Gonçalves**

Equipe de Desenvolvimento em Robótica Móvel-EDROM, FEMEC, UFU, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bairro Santa Mônica, Campus Santa Mônica – Bloco 1M, Uberlândia-MG – CEP 38400-902UFRJ

E-mail para correspondência: rsgoncalves@mecanica.ufu.br

### **Resumo**

Este trabalho descreve o desenvolvimento, a arquitetura e programação, do projeto FIONA, pela Equipe de Desenvolvimento em Robótica Móvel da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. FIONA é um robô feito para a LARC 2010 IEEE categoria Open. Nesta modalidade da competição foi proposto o desenvolvimento de um robô autônomo para aplicação em um centro de distribuição. As principais idéias para que o robô fosse capaz de completar sua tarefa são mostradas neste trabalho.

**Palavras-chave:** Robô Móvel, Competição, CBR, IEEE Open, Lego Mindstorm.

### **Introdução**

A EDROM (Equipe de Desenvolvimento em Robótica Móvel) é um grupo de desenvolvimento em robótica da Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, Minas Gerais. A equipe desenvolveu o projeto chamado Fiona para a categoria IEEE OPEN da LARC 2010 (Latin American Robotics Competition). A idealização e construção do robô, com sua arquitetura e programação, duraram cerca de seis meses (tempo entre a divulgação das regras e a competição). O kit Lego Mindstorms NXT (LEGO, 2010; LEGO Engineering, 2010) foi escolhido para a confecção do projeto.

A categoria IEEE OPEN sempre designa uma tarefa, diferente a cada ano, em que um robô deverá realizar sem ajuda externa além de sua programação prévia. O robô pode ser feito de qualquer tipo de material sem limitação de peso apenas limitado em suas dimensões.

Este artigo descreve os princípios de funcionamento da FIONA, tais como: lógica de programação, arquitetura e os conceitos de engenharia utilizados.

### **Competição**

A competição em 2010 tinha como tema os centros de distribuição de grandes empresas, onde robôs classificam, transportam e entregam produtos em pacotes conforme pedidos para centros de venda (IEEE Open, 2010).

Sobre esse tema foi proposto o desafio no qual os robôs teriam que apresentar a capacidade de transportar e classificar os produtos que chegam as fábricas e organizar-los em embalagens adequadas para serem enviados aos pontos de venda o mais rápido possível e com alta precisão.

A competição teve como objetivo a criação de um robô autônomo que fosse capaz de se orientar no cenário a partir de um dos quatro pontos de partida, Fig. 1(a), colocado em uma orientação aleatória, procurar e encontrar os produtos, representados por cubos de madeiras com aresta de  $50 \pm 2$  mm com as seguintes cores: vermelho, verde, ciano (azul), magenta (rosa) e amarelo, Fig. 1(a).

Os centros de distribuição localizados no cenário eram os locais onde os robôs autônomos podiam manipular os produtos e organizá-los em pacotes que seriam enviados para os pontos de vendas, Fig. 1(c).

Os produtos eram agrupados em cores como representado na Fig. 1(a) que mostra a situação inicial da arena, havia cinco zonas de produtores onde eram colocados os produtos agrupados nas cores citadas anteriormente, cada zona de produtor continha 12 cubos empilhados em fileiras de 4 cubos. A escolha da posição destas pilhas era escolhida aleatoriamente por sorteio antes de cada rodada.

O robô devia ser capaz de diferenciar a cor de cada produto, pegá-los e depositá-los em uma ordem específica na área de vendas. A ordem correta de cores para entrega era a seguinte: azul, vermelho, amarelo, verde e rosa. Os cubos tinham que estar com suas faces em contato. A Figura 1(b) representa a situação final ideal (IEEE Open, 2010).

Qualquer outra disposição de cores na entrega dos pacotes estava sujeita a penalização. Avançariam nas fases da competição aqueles que conseguisse entregar mais pacotes no tempo de 5 minutos.

O cenário para a competição foi construído em MDF branco totalmente nivelado, de 2400 x 2000mm, sendo o seu perímetro exterior marcado com fita isolante preta, marca 3M com espessura de 19mm. A Figura 1(c) mostra a disposição da área onde estão localizados os produtos (producer's zone) e a área onde deve ser realizada a entrega (vender's zone).

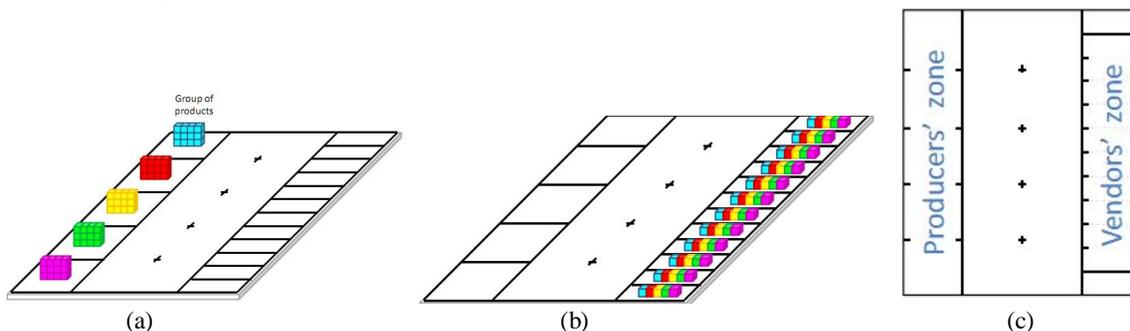


Figura 1 – (a) Situação inicial da arena; (b) Situação final ideal; (c) Cenário e suas áreas (IEEE Open, 2010).

### Arquitetura do Robô

O princípio do projeto foi construir uma estrutura para que o robô fosse capaz de realizar a tarefa proposta pela competição, seguindo as regras da LARC 2010 categoria IEEE open.

A Fiona é composta pelas seguintes partes: 6 Servomotores; 2 CLPs (Controlador Lógico Programável); 2 mecanismos de quarto barras; 2 rodas com pneus; cordas auxiliares; rampa; garra; sensores; porta; 2 esferas de aço e peças diversas para conexão destas partes, Fig. 2(a).

A primeira idéia para o protótipo da Fiona era procurar uma forma com que o robô fosse capaz de carregar 5 cubos juntos. O primeiro protótipo tinha um espaço livre para alocar os cubos, estes ficavam em contato com o chão, porem o contato dos cubos com o cenário poderia causar danos ao mesmo. Para resolver esse problema foi criada uma rampa dentro do robô para a alocação dos cubos, Fig. 2.

A garra, elemento terminal do robô móvel, foi construída para pegar os cubos, que em função do seu formato foi utilizada uma garra com faces paralelas. Foi utilizado um servomotor colocado na posição vertical para otimizar o tamanho da Fiona. Usou-se dois pares de engrenagens para realizar a transferência de rotação e torque do motor para as garras que pegam os cubos.

Dois mecanismos de quatro barras foram utilizados para erguer e abaixar a garra, este tipo de mecanismo foi escolhido devido à necessidade da garra se manter em posição vertical quando erguida, como é mostrado na Fig. 2(b). Dois motores e um conjunto com quatro engrenagens duas em cada lado foram utilizadas para aumentar o torque e suportar o peso dos elementos conjuntamente com o peso do cubo.

Uma pequena corda foi usada para ligar os mecanismos de quatro barras à parte móvel da rampa, que pode girar livremente ao redor da sua conexão com o resto da rampa. Quando a garra é levantada, a parte móvel da rampa encosta no cubo, permitindo que ele entre corretamente na rampa. Essa ligação com a corda foi usada para reduzir uma das dimensões do robô, e também para evitar que a rampa de acesso interferisse no levantamento da garra. A Figura 2(c) mostra o funcionamento da rampa.

A utilização de duas esferas ao invés de rodas na parte frontal do robô, fez com que o mesmo tivesse um melhor deslocamento no cenário e melhorou a forma como a Fiona realiza as curvas.

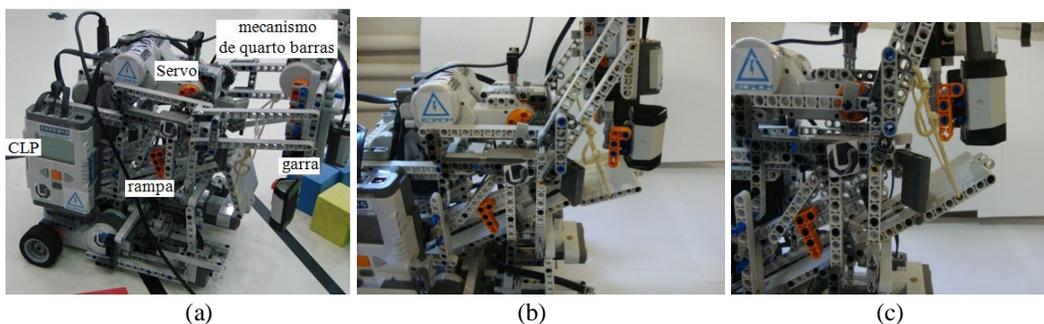


Figura 2 – (a) Fiona; (b) Visão lateral da Fiona; (c) Funcionamento da parte móvel da rampa.

Os servomotores foram utilizados conforme mostrado na Tab. 1.

Tabela 1 – Servomotores e suas conexões com os CLPs.

CLPs	Conexões	Função
1	A	Abrir e fechar garra
	B	Movimentação da garra
	C	Movimentação da garra
2	A	Abrir e fechar a porta
	B	Movimentação do robô
	C	Movimentação do robô

### Lógica e Programação

A programação foi feita com o software da Lego MINDSTORMS NXT<sup>®</sup> 2.0 fornecido no kit (Bishop, 2007; Rinderknecht, 2007; Benedettelli, 2007; Kelly, 2007).

Este é um ambiente gráfico de desenvolvimento de programas em linguagem gráfica com plataforma no software LabVIEW<sup>®</sup> (National Instruments, 2011). Como o CLP da Lego MINDSTORMS NXT suporta apenas três servos motores, e o projeto requer seis foi necessário usar dois CLPs. O fato de usar dois CLPs implicou no uso de duas rotinas de programação separadas. O dispositivo Bluetooth, presente nos CLPs foi usado para combinar as duas rotinas.

O CLP 1 é responsável por contar o número de cubos coletados, levantar e abrir/fechar a garra. O CLP 2 é responsável pelo movimento do robô, além de abrir e fechar a porta traseira, Tab. 1.

Esta escolha particular dos CLPs e motores foi feita para reduzir o número de vezes que os CLPs trocam mensagens entre si, pois isso aumenta o tempo de realização da tarefa e o consumo das pilhas.

A tarefa do robô começa com a localização da posição dos cubos na Zona do Produtor. Esta identificação é realizada com a utilização de um sensor ultra-sônico. Como ele começa em uma posição aleatória, é necessário decidir que grupo de cubos é o mais próximo. Ele move em direção a esses cubos e identifica a cor deles. A ação se repete para os próximos grupos, criando um banco de dados que descreve qual a localização de cada grupo de cubos, uma vez que eles também são ordenados aleatoriamente. A Figura 3 mostra o robô Fiona em uma posição inicial aleatória.

Além de identificar as cores dos cubos, o robô ainda decide se o cubo que está vendo é da próxima cor a ser pega. Caso seja, ele pega o cubo, e incrementa a contagem de quantos cubos está carregando. Depois disso, se a próxima cor a ser pega já foi vista, ele volta à posição em que se encontra esta cor.

O próximo passo é entregar o pacote de cinco cubos armazenado dentro do robô. Ele se move até a zona de venda, abre a porta traseira no final da rampa e move-se vagarosamente para frente, para que os cubos deslizem para baixo, até atingirem o cenário. Para ajustar o pacote da forma correta, de acordo com as regras os cubos têm que possuir suas faces em contato, o robô anda para trás novamente, fazendo com que os cubos fiquem juntos. A Figura 4 ilustra a entrega de um pacote de cubos.

Após entregar um pacote, Fiona começa a tarefa de novo, pulando a primeira parte, uma vez que já possui o banco de dados mencionado anteriormente. A Figura 5 mostra o fluxograma descrevendo a tarefa do robô.

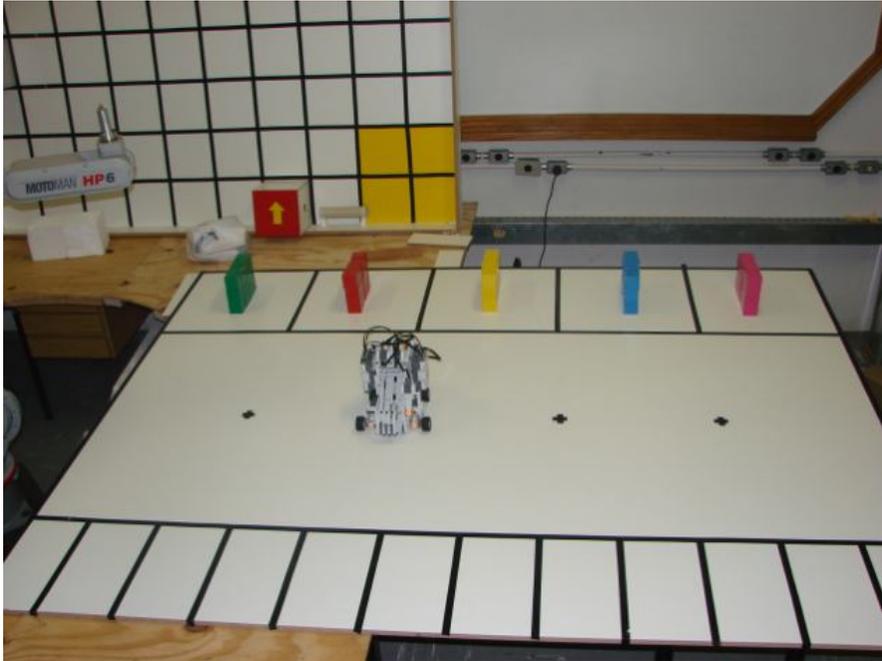


Figura 3– Fiona em possível situação inicial.

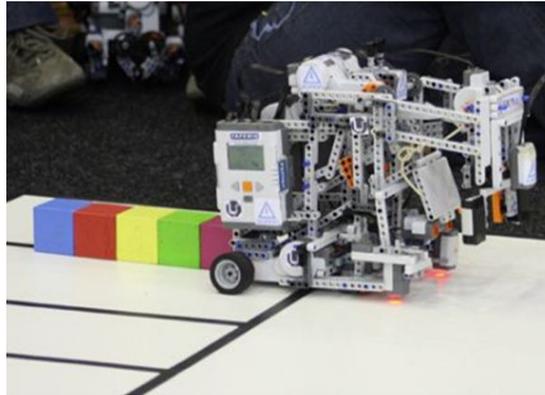


Figura 4– Fiona entregando um pacote de cubos, na ordem correta.

A Figura 6 mostra a Fiona realizando a tarefa proposta. Nestes caps do vídeo a Fiona já tinha pegado o cubo rosa. Na Figura 6(a) é pegado o cubo de cor verde, após o robô parte para pegar o segundo cubo amarelo, Figs. 6(b-d) e, sucessivamente, o cubo vermelho Figs. 6(e-g), cubo azul, Fig. 6(h). Após a coleta dos cubos o robô entregou os cubos na área de vendedores Fig. 6(j-k) e finalmente realizou o alinhamento dos cubos, Fig. 6(l). O vídeo completo pode ser acessado em: <http://www.youtube.com/watch?v=Rehs2V00V-Y>.

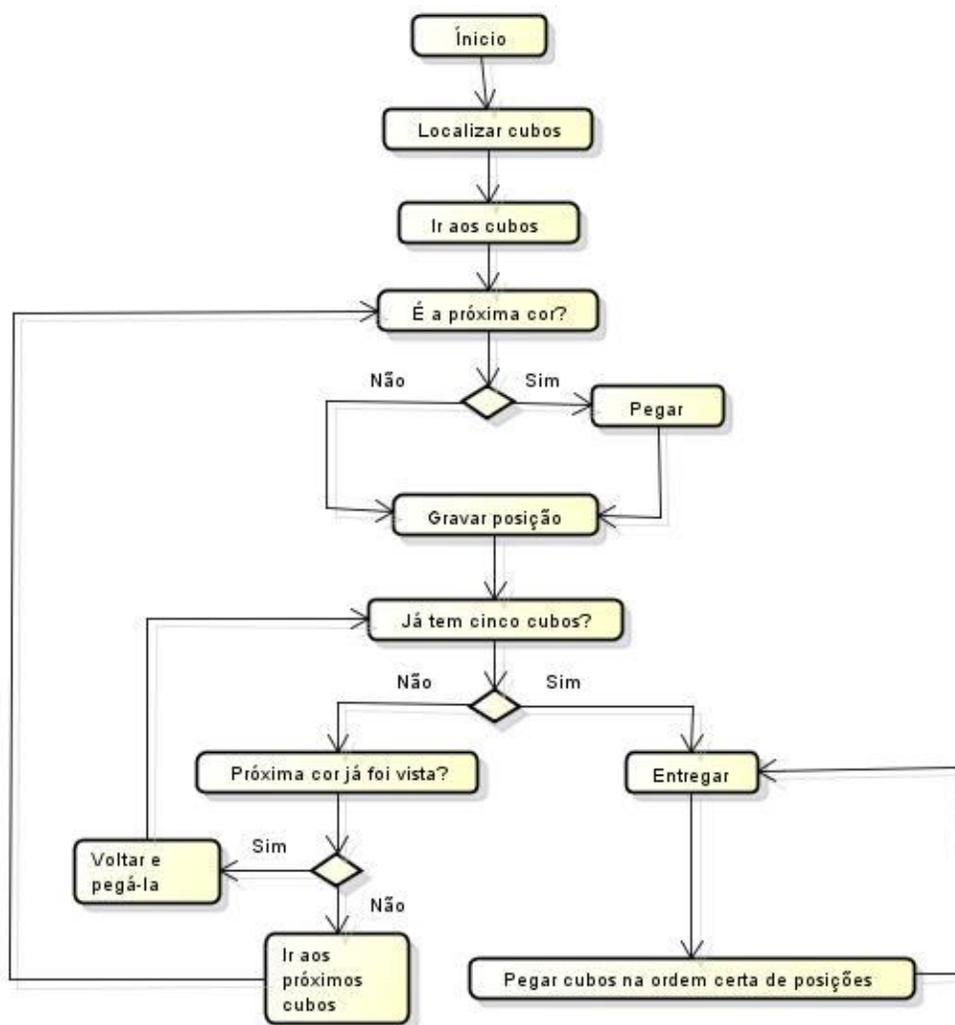


Figura 5 –Fluxograma do robô Fiona.

### Conclusões

A tarefa proposta ilustra um problema real de engenharia, o que fez com que esse projeto fosse extremamente gratificante para cada um dos membros da equipe, além de toda experiência obtida.

Este trabalho envolveu conceitos de sistemas inteligentes, navegação e auto-localização, controle de robôs, planejamento, raciocínio e tomada de decisão inteligente.

Neste trabalho foram apresentados a competição IEEE Open, o projeto mecânico do robô e sua lógica de programação.

Deve-se destacar que nesta modalidade de competição estiveram presentes 15 equipes da América Latina entre os países: Chile, Colômbia, Venezuela, Uruguai e Brasil. Apenas 5 equipes conseguiram participar do desafio entre elas a EDROM.

Apesar de todas as dificuldades encontradas no desenvolvimento do projeto FIONA como o mau funcionamento de alguns sensores e o alto consumo de pilhas, o projeto foi bem sucedido durante a competição.

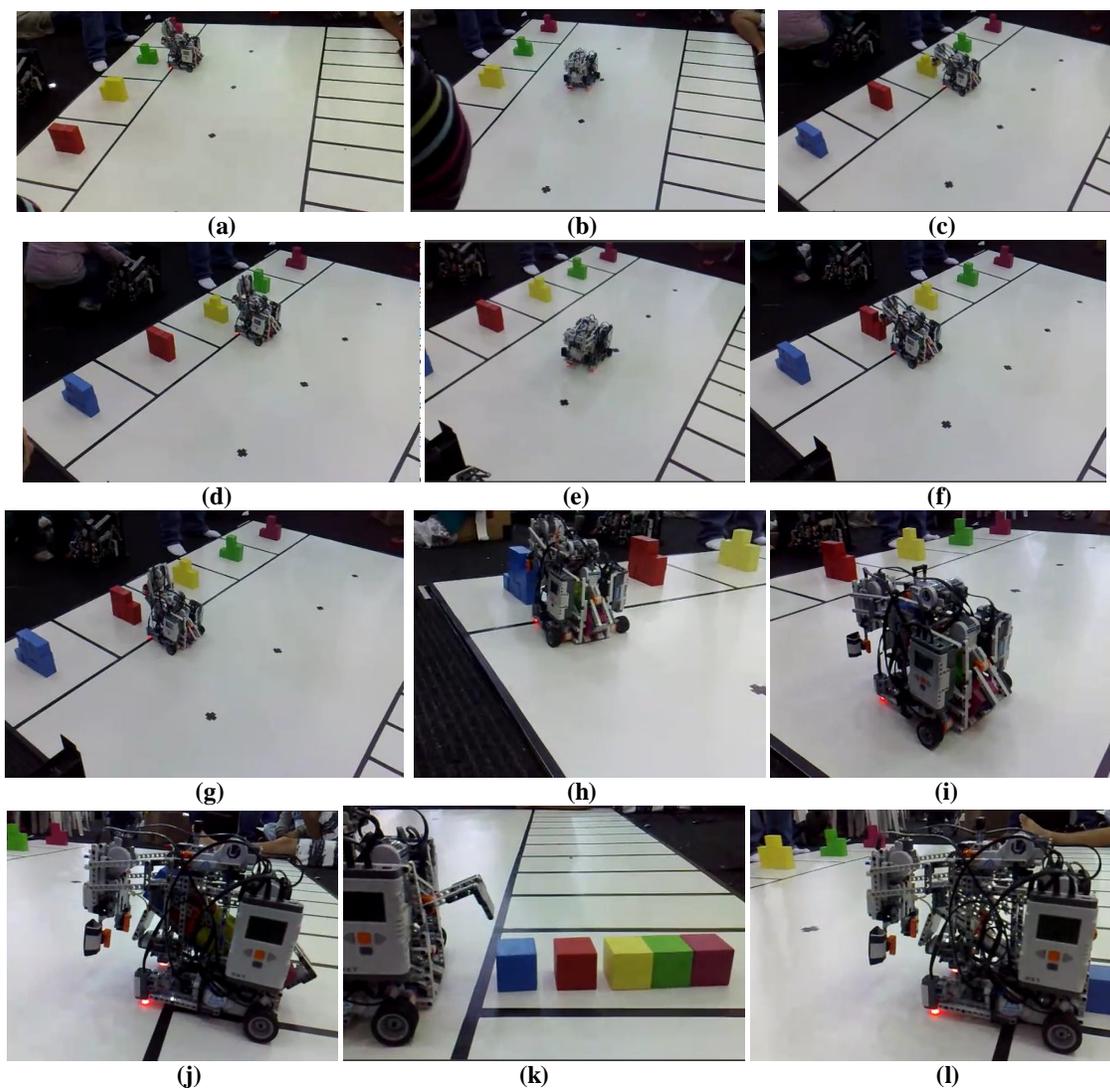


Figura 6 – Fiona realizando a tarefa.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Uberlândia, a Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) e a Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais-FAPEMIG pelo apoio financeiro.

### Referências Bibliográficas

- Benedettelli, D. (2007). Programming LEGO NXT Robots using NXC.
- Bishop, O (2007). Programming LEGO® MINDSTORMS® NXT, Ed. Syngress.
- IEEE Open (2010). Rules of OPEN category, 9th IEEE Students Latin American Robotics Competition, Version 1.0.
- Kelly, J. F. (2007). LEGO MINDSTORMS NXT-G® Programming Guide.
- LEGO Engineering, <<<http://www.legoengineering.com/>>> acessado: 13/08/2010.
- LEGO®, <<<http://www.lego.com>>> acessado 22/09/2010.
- National Instruments, <<<http://www.ni.com/academic/mindstorms/>>> acessado: 22/01/2011.
- Rinderknecht, M (2007), Tutorial for Programming the LEGO® MINDSTORMS™ NXT, University of Zurich, Department of Informatics, Artificial Intelligence Laboratory.