



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 DOS ROBÔS VERA E LUCIA PARA REPARAÇÃO DE OLEODUTOS**

**Anazíbio Batista de Faria Neto, Bruno Jou Hiraiwa, Luís Felipe Praxedes Alves, Thalles Beppu Fidelis 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, dos robôs Vera e Lucia, pela Equipe de Desenvolvimento em Robótica Móvel da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. Vera e Lucia foram robôs construídos para a Latin American Robotics Competition 2010 IEEE categoria SEK. Nesta modalidade da competição foi proposto o desenvolvimento de dois robôs autônomos para reparação de uma linha de oleoduto. As principais idéias para que os robôs fossem capazes de completar sua tarefa são mostradas neste trabalho.

**Palavras-chave:** Robô móvel, LARC, IEEE SEK, Lego Mindstorm

### **Introdução**

A preservação do meio ambiente é uma preocupação global e presente na indústria de petróleo. Com a descoberta de novas fontes de petróleo, geralmente, distantes dos grandes centros distribuidores faz-se necessário a confecção de uma malha de distribuição denominada dutoviária. A estrutura de abastecimento de petróleo e seus derivados são interligados a partir de três pontos distintos que são: as fontes de produção, refinarias e os centros de consumo.

Desta forma os oleodutos são um meio de transporte para o abastecimento das refinarias e distribuição para os centros consumidores de seus derivados. Pode-se definir duto como a instalação de tubos interligados entre si, destinado a movimentação de petróleo e seus derivados a partir de oleodutos e de gás natural a partir de gasodutos. Se o oleoduto é utilizado para o transporte de vários produtos ele é denominado poliduto. Os dutos são pontos críticos na logística da cadeia petrolífera e um acidente pode interromper o processo provocando prejuízos, problemas operacionais, contaminações ambientais, exposição e contaminação de pessoas além de possibilidades de incêndios e explosões. A interrupção de uma linha pode causar grande impacto na logística de exploração, produção, refino, distribuição e comercialização. Como fonte de citação a Transpetro possui 13.000.000 de metros de dutos e 47 terminais (Transpetro, 2009).

Assim o sistema dutoviário busca sempre novas tecnologias para melhorar sua eficiência evitando-se acidentes através da diminuição dos riscos de vazamento, detecção de vazamentos, redução do tempo de reparo e dos danos ambientais.

Desta maneira pode-se pensar no desenvolvimento de robôs móveis autônomos para manutenção/reparos das linhas de oleodutos.

Um robô móvel pode ser definido como um dispositivo mecânico montado sobre uma base não fixa, que age sob o controle de um sistema computacional, equipado com sensores e atuadores que o permitem interagir com o ambiente (Beket, 2005).

A modalidade IEEE Standard Education Kits tem como objetivo apresentar um desafio estimulante para os alunos de graduação que precisam montar dois robôs autônomos usando apenas peças de kits educacionais aprovados para a competição. Os dois robôs devem agir de modo cooperativo para cumprir a tarefa que é mudada a cada ano.

Com este enfoque foi apresentado na 9ª Competição Latino americana IEEE de Robótica para Estudantes na modalidade IEEE SEK 2010 (Standard Educação Kits) o desafio de desenvolver dois robôs cooperativos que devem realizar o reparo do oleoduto, além da construção de um oleoduto alternativo, a fim de reduzir o tempo de interrupção no fluxo de petróleo e os danos ao meio ambiente.

Assim, neste trabalho são apresentados os métodos e estratégias que a equipe EDROM (Equipe de Desenvolvimento em Robótica Móvel) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) usou para construção do projeto que competiu no desafio IEEE Standard Education Kits 2010 proposto na Latin American Robotics Competition (LARC). O projeto foi desenvolvido com kits comercial da LEGO® Mindstorm NXT. Primeiramente é apresentado o objetivo da competição. Após é descrito o kit da LEGO® utilizado e os robôs desenvolvidos. Na seqüência, os detalhes dos robôs, construção mecânica, sensores e programação são apresentados. Finalmente a participação na competição é descrita.

### Competição

O objetivo da modalidade SEK 2010 era simular uma área com o vazamento de um duto, com a presença de dutos sobressalentes que pudessem ser utilizados para a construção de um caminho alternativo minimizando o tempo de interrupção no escoamento do óleo. Para facilitar o desafio a disposição dos dutos sobressalentes era sempre a mesma durante a competição. Para realizar esta tarefa era necessária a confecção de dois robôs que deveriam trabalhar cooperativamente e autônomos para parar o vazamento e restabelecer o fluxo de petróleo. Inicialmente os robôs eram posicionados em extremos opostos da arena, delimitados por regiões amarelas, Fig 1. Primeiramente os robôs deveriam interromper o fluxo de petróleo pelo fechamento da válvula *A* e retirar o duto danificado (duto em preto) deixando-o na área amarela inferior, Fig. 1. A demora para o fechamento da válvula representava o vazamento do produto agravando os danos ambientais que eram convertidos em multa a equipe. Posteriormente os robôs tinham que trabalhando cooperativamente e de forma autônoma construir um caminho alternativo para restabelecer o fluxo de petróleo entre a válvula *B* e *C* (plataforma de recebimento), Fig. 1. Após a construção do caminho alternativo o escoamento do petróleo era restabelecido com a abertura da válvula *B*. A demora para restabelecer o fluxo de petróleo era penalizada com multas devido ao prejuízo provocado pelo desabastecimento de petróleo nos centros consumidores. Resumindo o desafio da competição era os robôs restabelecerem a ordem, evitar o derramamento de petróleo e retornar o abastecimento, recebendo o mínimo de multa e evitando perdas maiores (IEEE SEK, 2010). A classificação final seria obtida pelos robôs mais eficientes que tivessem as menores perdas.

A arena da competição foi construída em uma base quadrada branca de 2200 mm de lado composta pelo material MDF e quadriculada por fita isolante da cor preta no qual cada quadrado possuía 200 mm de lado. A arena é cercada por paredes também constituídas de MDF na cor branca, com dimensões de 15 mm de espessura e 100 mm de altura. Há plataformas fixas cúbicas com 200 mm de lado nas quais estão inseridas as válvulas de controle do escoamento do óleo. Dois cubos construídos de isopor com 150 mm de lado servem como curvas para a tubulação e tubos com 50 mm de diâmetro colados em bases de isopor com 40 mm de largura, 20 mm de espessura e 30 mm de altura constituem a tubulação, Figs.1 e 2.

A Figura 2 representa uma solução possível para restabelecer o fluxo de petróleo.

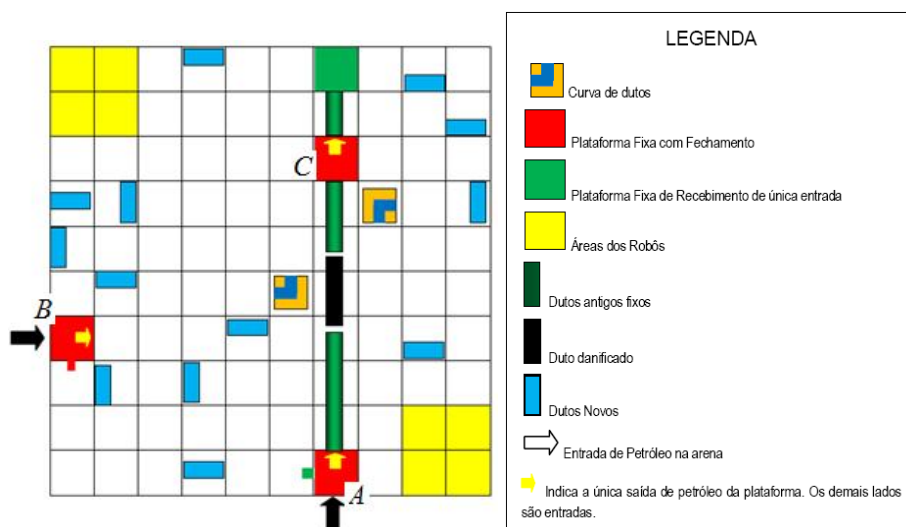


Figura 1 – Configuração inicial da arena; Legenda dos elementos da arena (IEEE SEK, 2010).

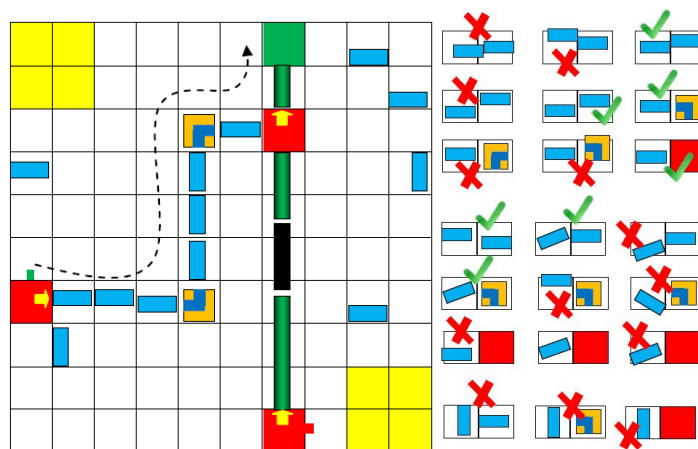


Figura 2 – Exemplo de uma possível solução; Representação das conexões (IEEE SEK, 2010).

A tarefa é concluída quando o tubo danificado, de cor preta é colocado no espaço amarelo inferior onde os dois robôs iniciam o trajeto, um novo trajeto de escoamento é formado pelos tubos azuis devidamente alinhados e sem que não esteja com parte para fora do quadrado que foi colocado, Fig. 2.

A Figura 2 apresenta as soluções admissíveis e inadmissíveis (representa vazamento de petróleo) da conexão entre os dutos e curvas.

### Kit Lego Mindstorms

Os robôs construídos com os kits LEGO MINDSTORMS® podem ser usados para fins educacionais como, por exemplo, introdução à robótica, automação, física, programação, inteligência artificial, cinemática, dinâmica, dinâmica das máquinas e competições educacionais.

O kit robótico da LEGO MINDSTORMS NXT®, utilizado neste trabalho, é composto por: um controlador lógico programável (CLP) com microprocessador de 32-bits com conexão USB 2.0 e Bluetooth possuindo 4 portas de entrada e 3 portas de saída; conjunto de peças LEGO TECHNIC® para construção mecânica; 3 servomotores de rotação contínua (com resolução de 1°); um sensor de toque; um sensor ultrassônico; um sensor de som e um sensor de luz ou cor (LEGO Engineering, 2010). Este kit possui também um software programável, com linguagem de programação gráfica, que utiliza a plataforma do software LabView®. A interface gráfica tem menus intuitivos que levam em consideração a linguagem de programação básica até a possibilidade de uso de variáveis, implementação de ciclos com as respectivas condições de parada, o uso de valores lógicos, a possibilidade do encadeamento de blocos de código mais simples para obter blocos mais complexos, etc.

Desta forma este aparato pode ser utilizado como ferramenta para o desenvolvimento de protótipos robóticos em curto prazo de execução e com baixo custo ideal para participação em competições.

### Robôs Vera e Lúcia

O planejamento do projeto foi dividido em seis etapas: procurar referências que poderiam ajudar; fazer um *brainstorm* levantando as possibilidades de resolução do problema; desenvolvimento da lógica de programação; construção dos robôs; programação com o software fornecido no kit e realização de testes e otimização dos robôs construídos.

O projeto dos robôs com o kit Mindstorm NXT é intuitivo pela modularidade das peças e o software utilizado para programação utiliza de linguagem gráfica (Bishop, 2007; Kelly, 2007), mas como qualquer projeto exige uma série de testes e cautela com a tolerância dos motores e sensores. Fatores como luz, diferença de cores e superfície de locomoção proporcionam impactos diretos na atuação dos mecanismos, causando erros no recebimento de comandos e ações diretas, como fazer uma curva ou parar a ação dos robôs. Desta forma a programação dos robôs deve permitir a calibração rápida dos sensores utilizados.

O projeto SEK-EDROM consistiu em dois robôs gêmeos, chamadas Vera e Lúcia, Fig. 3.

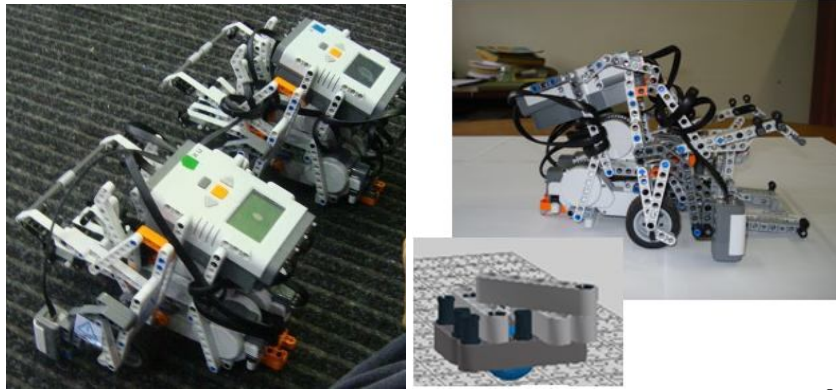


Figura 3 – Os robôs Vera e Lúcia; Sistema da esfera modelado em LEGO Design®.

Os projetos dos robôs foram divididos em 4 partes: sistema de locomoção; sistema de identificação e manipulação de dutos; sistema de navegação e sistema de comunicação.

Os robôs Vera e Lúcia se movimentam de maneira similar. Mecanicamente são como triciclos com o sistema de esfera no lugar da roda traseira, Fig. 3. O sistema de esfera simula uma articulação esférica permitindo uma maior liberdade de movimentação do robô, diminuindo o contato com o solo, e simplificando a montagem mecânica ao invés de utilizar uma terceira roda, Fig. 3. Em cada roda do robô é acoplado um servomotor com resolução de  $1^\circ$  que permite a locomoção do robô ao longo do cenário.

Cada robô é capaz de levantar, transportar e depositar os dutos com uma garra acionada por somente um servomotor. Para reconhecer os dutos é utilizado um sensor de toque que quando acionado faz a garra fechar-se. Este sensor de toque é acoplado em um mecanismo tipo alavanca, dotado de uma roldana, que faz com que o sensor necessite de uma menor força para ser acionado e então não derrube os tubos, Fig. 4.

A garra foi construída usando um trem de engrenagens de diferentes tamanhos que permite a abertura e fechamento da garra formada por um mecanismo articulado, Fig. 4. Em relação à garra, após diversas configurações foi usado um sistema tipo elevador, em que apenas a parte de baixo da garra se locomovia por um sistema de quatro barras, e foi colocado peças de borracha que davam maior firmeza ao segurar os tubos evitando-se a queda deste.

A movimentação do robô pela arena foi realizada a partir do fato desta ser quadriculada. Desta forma foi desenvolvido um algoritmo para a contagem de linhas usando-se dois sensores de cor fixados nas laterais dos robôs, Fig. 4. Estes diferem a cor branca da arena da cor preta da fita isolante adicionando um algoritmo na memória quando esta última é encontrada. Quando a contagem chega ao número requerido ele executa a ação desejada. A Figura 5 mostra o fluxograma simplificado de trabalho dos robôs Vera e Lúcia. Primeiramente é verificado o alinhamento do robô através dos dois sensores de cores, caso o robô esteja desalinhado é realizado o seu alinhamento a cada quadro da arena evitando-se erros de posicionamento. Se o robô estiver alinhado este passa a localizar o duto seguindo a metodologia de construção do caminho alternativo apresentado na Fig. 5. Caso este fosse encontrado pelo sensor de toque o robô verificaria se esta era a posição correta de colocação do duto. Caso contrário o robô iria navegar alinhando o seu movimento ao longo da arena até a posição de entrega do duto. Quando todos os dutos estivessem em sua posição, montando um caminho alternativo para o oleoduto, era restabelecido o fluxo de petróleo com a abertura da válvula B, Fig. 1.

Para que os robôs não se chocassem durante a realização da tarefa estes foram programados a partir de sistemas de comunicação usando Bluetooth disponível no CLP do kit LEGO® Mindstorm. Durante a movimentação dos robôs pela arena, em função de uma distância de segurança, se estes estivessem próximos com possibilidade de choque um dos robôs parava e enviava sinal de que estava seguro para o outro passar por aquele local. Quando este já estava a uma distância segura mandava o sinal de volta, podendo assim completar o seu objetivo. Desta forma os robôs trabalhavam cooperativamente.

#### **Participação na Competição SEK-LARC 2010**

A Figura 6 mostra a seqüência (caps.) da participação da EDROM modalidade SEK na última rodada em que a equipe consagrou-se vice-campeã entre 20 equipes da América do Sul. O vídeo completo pode ser acessado em: <http://www.youtube.com/watch?v=CGhRhgTRfb0>.

Durante a participação na competição e treinos foi verificada a grande influência do consumo das pilhas nos sensores e servomotores levando a erros durante a execução do desafio e inviabilizando a diminuição do tempo de execução da tarefa. Para sanar este problema nas próximas competições serão utilizadas baterias recarregáveis ao invés de pilhas. A Figura 6(a) mostra o início da rodada com os dois robôs deixando as

áreas dos robôs (região amarela), na Fig. 6(b) os robôs já estão deslocando dutos, na Fig. 6(c) o robô da direita está retirando o duto danificado (preto), na Fig. 6(d) o robô da esquerda faz o fechamento da válvula parando o vazamento de petróleo, já a Fig. 6(e) mostra o robô da direita depositando o duto danificado na área especificada, as Figs. 6(f) à 6(k) mostram os robôs trabalhando cooperativamente para construir o caminho alternativo e finalmente a Fig. 6(l) apresenta o caminho alternativo completo e o robô abrindo a válvula para restabelecer o fluxo de petróleo.

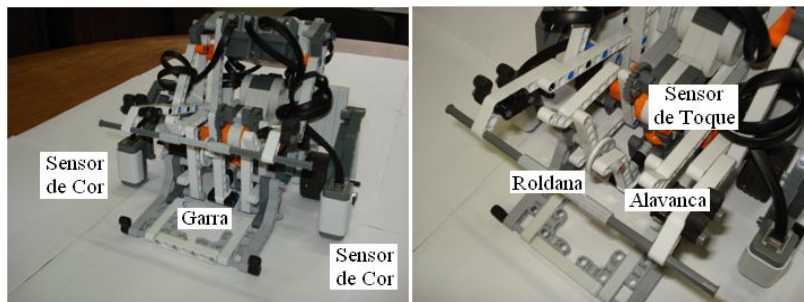


Figura 4 – Detalhes da garra e do sensor de toque.

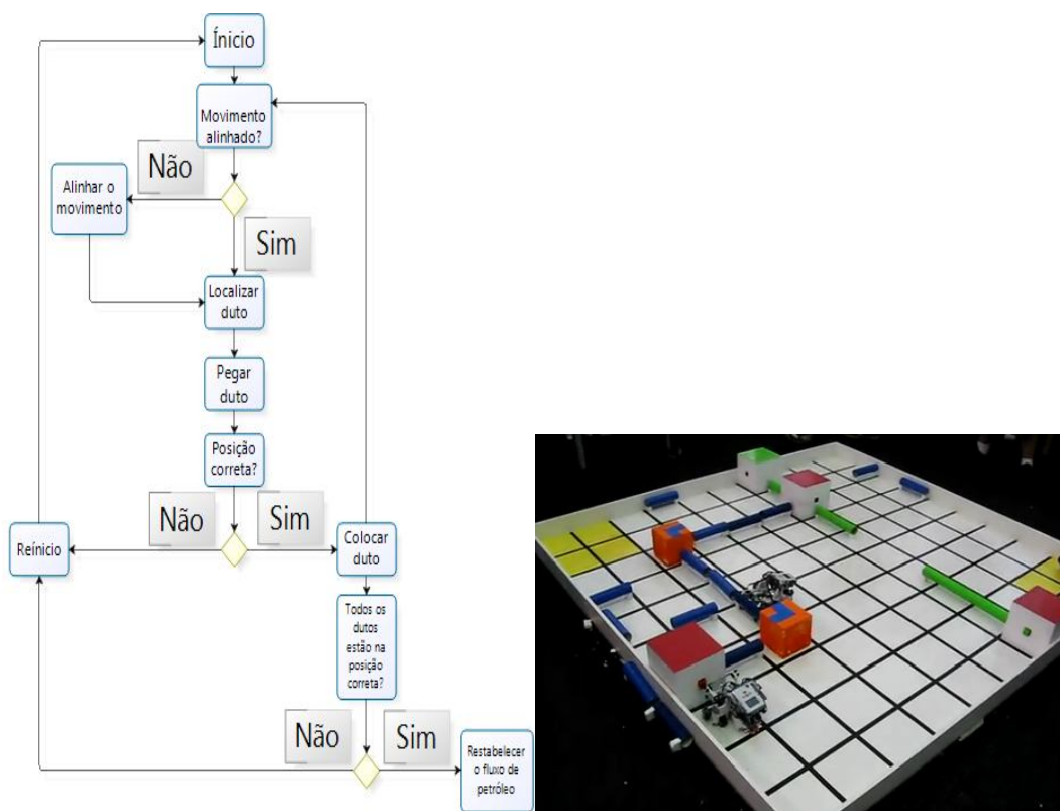


Figura 5 – Fluxograma de trabalho dos robôs Vera e Lúcia; Caminho proposto pela EDROM.

## Conclusões

Neste trabalho foi apresentada a modalidade de competição IEEE SEK 2010 e a participação da Equipe EDROM/UFU nesta modalidade.

As competições SEK têm como objetivo a construção de dois robôs cooperativos autônomos que devem executar uma determinada tarefa modificada a cada ano. No ano de 2010 foi proposta a confecção de dois robôs para reparação de dutos e confecção de um caminho alternativo minimizando o impacto ambiental do vazamento de petróleo.

No desenvolvimento deste projeto foram utilizados conceitos de navegação, auto-localização, controle, planejamento constituindo um projeto completo de mecatrônica com a montagem da parte mecânica do robô, sensoriamento e controle e finalmente com a programação para dotá-lo de inteligência artificial.

Para atingir os objetivos da competição este trabalho apresentou o projeto mecânico dos robôs Vera e Lúcia e sua lógica de programação.

Deve-se destacar que nesta modalidade de competição estavam presentes 20 equipes da América do Sul e a EDROM/UFU conquistou o 2º lugar.

Finalmente as participações nestas modalidades de competições permitem a completa aplicação e integração dos conhecimentos adquiridos durante os cursos de graduação em ciências exatas estimulando e incentivando os alunos na busca de conhecimento, experiência profissional e trabalho em grupo.

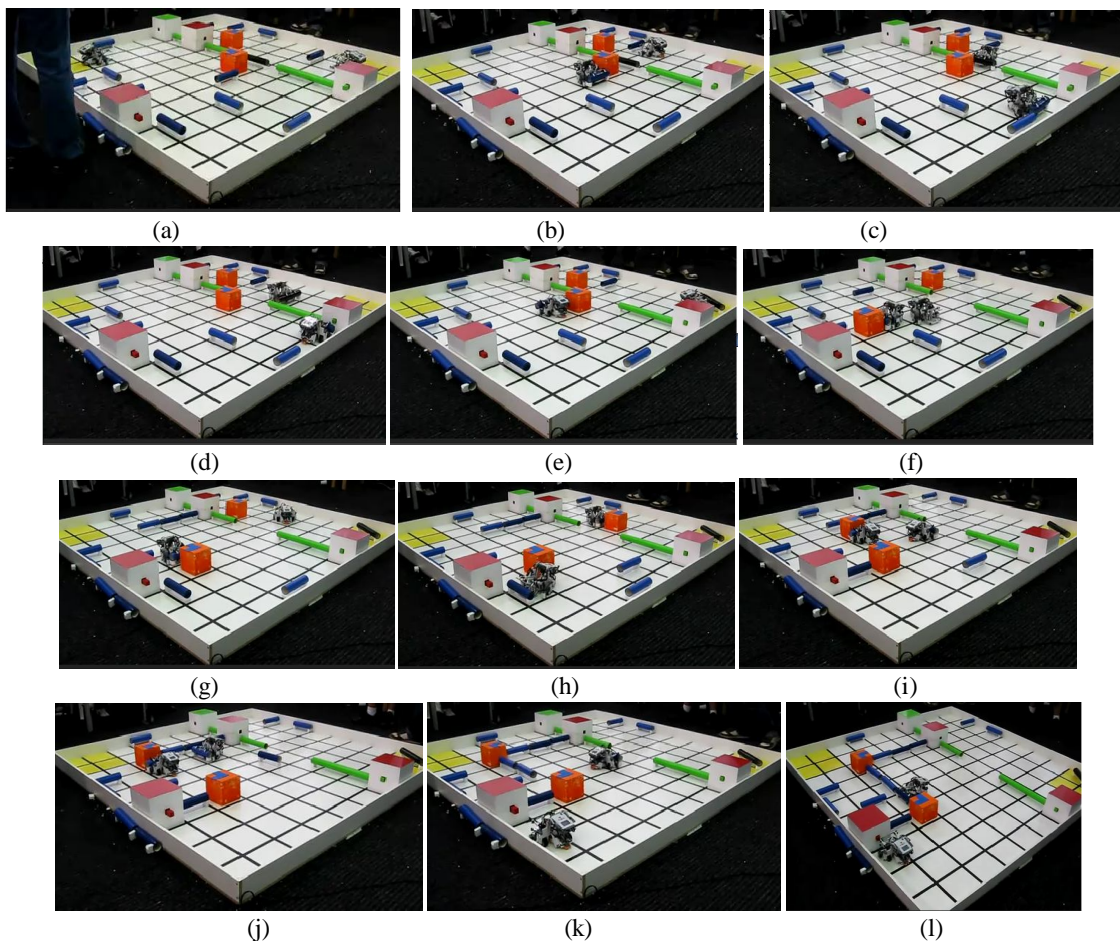


Figura 6 – Vera e Lúcia na Final da IEEE SEK 2010.

### Agradecimentos

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

### Referências Bibliográficas

Beket, G. A. (2005). *Autonomous Robots: From Biological Inspiration to Implementation and Control*. Cambridge, USA : The MIT Press, 2005.

Bishop, O (2007). *Programming LEGO® MINDSTORMS® NXT*, Ed. Syngress.

Kelly, J. F. (2007). *LEGO MINDSTORMS NXT-G® Programming Guide*.

IEEE SEK (2010) Rules of SEK category, 9<sup>th</sup> IEEE Students Latin American Robotics Competition.

LEGO Engineering, <<<http://www.legoengineering.com/>>> acessado: 13/08/2010.

Transpetro (2009), Relatório Anual.