

Team Description Paper IEEE-SEK: Eng+1 UFABC

B. C. S. Sanches¹, Membro, IEEE, G. N. Lima², G. S. Marques¹, L. R. Trambaiolli², L. T. C. Martins¹, N. Y. C. Hashimoto¹, R. B. C. Spinelli¹, T. L. Angelini¹, T. R. Alencar¹, Membro, IEEE, Y. Zana²

Abstract— The aim of this work is to present an optimal solution to the challenge proposed by the Latin American Robotics Competition (LARC) in the IEEE Standard League Educational Kits (SEK) category. The challenge is to solve a fuel leak from a damaged pipe in the shortest possible time using two robots built from LEGO educational kits. We built two robots with self-movement capability, light, magnetic field and distance sensors, non-skid grabbing, communication with a second robot and artificial intelligence algorithms. Using proportional–integral–derivative (PID) control strategy and collaborative communications, the proposed problem was correctly solved in competitive time. The results indicate that with further developments, real-world problems can be solved using similar components and logic.

I. INTRODUÇÃO

ESTE artigo apresenta as estratégias adotadas pela equipe “Eng+1 UFABC” para a resolução do desafio da categoria IEEE Standard Educational Kits 2010, proposto na Competição LatinoAmericana de Robótica – LARC2010. A tarefa deste visa o desenvolvimento da melhor dupla de robôs capaz de reparar oleodutos, assim como construir dutos alternativos, de forma a evitar danos ao ambiente e interrupção da produção [1]. Um problema semelhante vem sendo enfrentado no mundo real, por exemplo, desde 20 de abril de 2010, onde a explosão de uma plataforma de petróleo no Golfo do México vêm causando danos a todo o ecossistema a sua volta, devido a dificuldade de contensão dos vazamentos [2].

¹ - Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais da Universidade Federal do ABC

² - Centro de Matemática, Computação e Cognição da Universidade Federal do ABC. Rua Santa Adélia, 166, Bangu, Santo André, SP, Brasil - CEP 09210-170, Fone: +55 11 4996-3166.

B. C. S. Sanches (bruno.sanches@ufabc.edu.br).

G. N. Lima (gabriel.nobrega.lima@gmail.com).

G. S. Marques (guilherme.santos.marques@gmail.com).

L. R. Trambaiolli (lucasrtb@gmail.com).

L. T. C. Martins (tetamartins@gmail.com).

N. Y. C. Hashimoto (noe.yoitiro@gmail.com).

R. B. C. Spinelli (raian.ufabc@gmail.com).

T. L. Angelini (angelini.thiago@gmail.com).

T. R. Alencar (ribeiro.alencar@gmail.com).

Y. Zana (yossi.zana@ufabc.edu.br).

Para a construção dos robôs foram utilizadas peças dos kits Lego Mindstorms NXT [3] e a linguagem de programação utilizada foi a NXC (Not eXactly C) no ambiente Bricxx Command Center 3.3 [4]. A equipe é formada por estudantes dos cursos de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Ciência da Computação, Engenharia de Automação e Robótica, Aeroespacial, Bioengenharia, Energia e Informação da Universidade Federal do ABC (UFABC). O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Sistemas Computacionais da UFABC sob orientação do Prof. Dr. Yossi Zana.

II. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi solucionar o desafio proposto pela Latin American Robotics Competition (LARC) na categoria IEEE Standard League Educational Kits (SEK). Especificamente, utilizando somente robôs e componentes da marca LEGO, a fim de construir um duto alternativo em detrimento de um duto antigo que apresenta vazamento, de forma a sofrer o mínimo de sanções possíveis segundo as regras da competição.

III. CONSIDERAÇÕES DO AMBIENTE

O ambiente é simulado por uma arena de cor branca, subdividida por quadrados de 200mm x 200mm delimitados por faixas pretas. Sobre as arenas são dispersos elementos que simulam um oleoduto danificado, quatro plataformas fixas de madeira com 200mm x 200mm x 200mm (sendo duas dotadas de válvulas de abertura e fechamento), 13 tubos de PVC (50mm de diâmetro e 200mm de comprimento, dispostos sobre uma base de poliestireno expandido) que simulam os dutos disponíveis para construção e dois blocos de 150mm x 150mm x 150mm que simulam curvas de dutos. A disposição inicial destes elementos é mostrada na Figura 1.

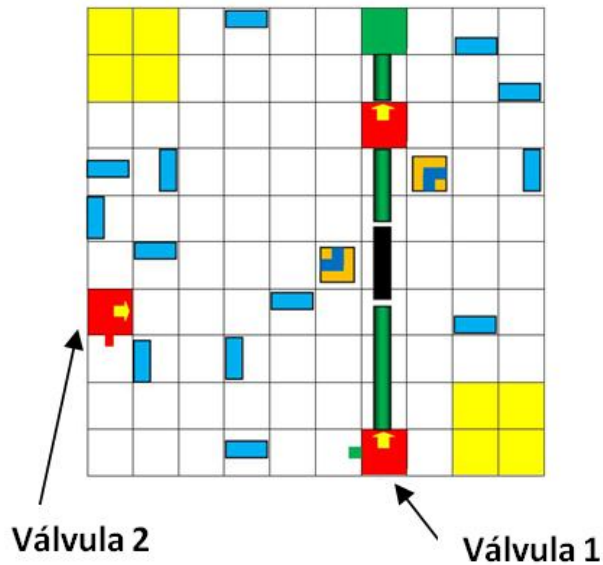


Figura 1 – Disposição inicial da arena.

A tarefa é considerada finalizada quando a válvula 1 (mostrada na Figura 1) é fechada, o cano danificado (em cor preta) é movido para uma das bases, um oleoduto alternativo é construído e a válvula 2 é aberta. A disposição do novo oleoduto escolhida pela equipe é mostrada na Figura 2.

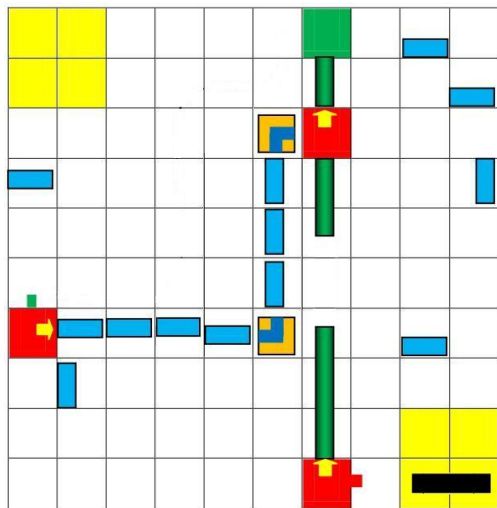


Figura 2 – Disposição escolhida pela equipe para o novo oleoduto.

IV. PROCEDIMENTOS

Foram construídos dois robôs idênticos (Fig. 3) de forma que ambos pudessem realizar as tarefas de capturar e locomover dutos, empurrar curvas de dutos e abrir e fechar válvulas. A seguir serão apresentadas em detalhes as funcionalidades dos robôs.

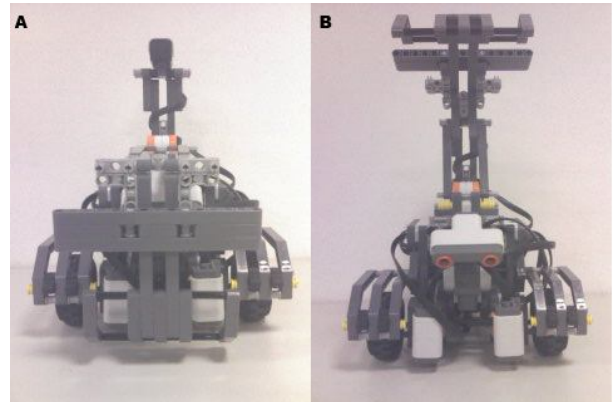


Figura 3 – Visão frontal de um dos robôs. A: robô com a garra abaixada. B: robô com a garra levantada.

A. Locomoção

Para locomoção dos robôs foram adotados dois atuadores diretamente ligados aos pneus do robô. Estes estão localizados na parte frontal, enquanto que uma “rodaboba” fica posicionada na parte posterior do robô, fazendo com que o centro de massa esteja localizado entre as três rodas. Esta configuração permite ao robô realizar rotações ao redor do próprio eixo, ao redor de eixos localizados em suas laterais e ainda apresenta um baixo consumo de energia [5].

B. Captura e movimentação de dutos

Para possibilitar a captura e a movimentação dos dutos, uma garra foi posicionada com seu eixo de rotação acima do nível dos dutos (Fig. 4). Testes preliminares demonstraram que garras cujo propósito é levantar os dutos antes de movê-los, sofre com o peso do duto quando seu motor é desligado (o problema persiste mesmo com o uso de engrenagens), exigindo que o motor permaneça ligado durante a movimentação do duto. A solução adotada reduz os riscos de queda dos dutos e o consumo energético.

Um sensor de ultrassom, posicionado à 42,67 graus em diagonal com o plano da mesa, registra a aproximação do robô ao duto (distância menor que 100mm). Quando abaixada, a garra com seu próprio peso exerce uma força necessária para que o duto permaneça fixo ao robô, eliminando a necessidade de o motor permanecer ligado. Um sistema de proteção foi adotado para que as bases do cano não encostem nas rodas do robô, além de um sistema antiderrapante dos canos (Fig. 4).

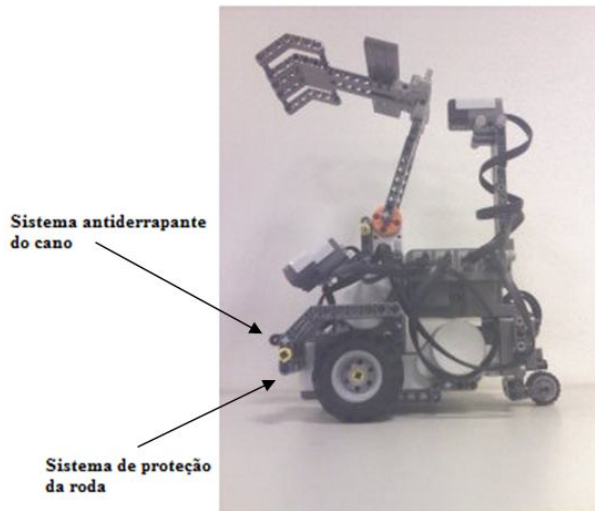


Figura 4 – Sistema de proteção da roda e antiderrapante do cano

C. Sistema de controle de movimento retilíneo do robô

O servo-motor NXT utilizado neste projeto pertence ao grupo de atuadores, os quais são classificados como máquinas de corrente contínua com caixa de redução e sistema de controle de rotação baseados em *encoder* (sensor de deslocamento angular). Este transdutor de posicionamento foi precípuo para a correção dos erros encontrados durante os ensaios nos quais os robôs foram submetidos para a determinação de suas dinâmicas, a saber: relação variável entre o conjugado, diferença de potencial e velocidade angular do atuador, escorregamento durante movimento de partida, características mecânicas construtivas e centro de massa desbalanceado que pode atribuir cargas desiguais aos motores.



Figura 5 – Encoder do motor do NXT. [6]

A partir dos problemas e características supracitadas e, também, da necessidade de desenvolver movimentos lineares sincronizados - com erro reduzido durante todo o trajeto entre os dois motores - aplicou-se a função “RotateMotorExPID”. Esta função utiliza a posição angular provinda do *encoder* (Fig. 5) como realimentação

para a malha fechada do controle proporcional, integral e derivativo no intuito de controlar a rotação do motor, além de sincronizar os dois motores.

Essa função possui a estrutura *RotateMotorExPID* (saídas, potência dos motores, ângulo de rotação, *turnpct*, sincronismo, stop, P, I, D). O parâmetro “turnpct” define a taxa de rotação que depende da construção do robô e pode variar entre -100 e 100.

D. Sistema de posicionamento do robô

O sistema de posicionamento do robô é baseado em um trio de sensores que trabalham conjuntamente.

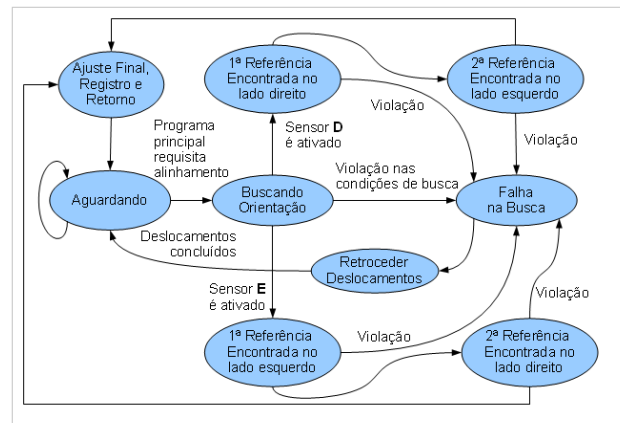


Figura 6: Fluxograma do algoritmo de alinhamento pelos sensores de luz.

Dois sensores de luz, posicionados na parte frontal do robô e distantes 90mm do plano da arena, são responsáveis pela contagem de linhas ultrapassadas pelo robô, o que lhe fornece uma medida de distância em locomoções retilíneas em relação aos quadrados da arena. Para a contagem de linhas foi desenvolvido um algoritmo que realiza somente a contagem caso os dois sensores detectem as linhas pretas. Esse algoritmo evita perda na orientação do percurso caso um sensor de luz, devido ao desvio de sua trajetória, identifique a linha preta lateral do seu movimento e entenda que o robô se movimentou um quadrado.

Estes sensores também são utilizados no processo de alinhamento do robô em relação às faixas pretas, quando este apresenta um desvio da trajetória retilínea estabelecida (Fig. 6).

O outro sensor utilizado é um sensor bússola, posicionado em paralelo com o plano da arena e de forma que fique à 150mm do motor e 100mm do NXT (distâncias estas estabelecidas seguras pelo site do fabricante [7]). Este sensor opera registrando a posição do robô no início da competição, com a qual todo seu alinhamento posterior

será baseado. Durante o percurso, o robô pode realizar alinhamentos corretivos quando solicitado, tomando como base sua posição em relação ao grau inicial.

Utilizou-se o desvio angular medido através do sinal do sensor bússola, dado por $a(n)$ como realimentação para a malha fechada do controle proporcional, integral e derivativo implementado de acordo com a equação 2, que é uma aproximação para tempo discreto da equação 3.

Desta forma, utilizou-se a equação 1 para o cálculo do erro, que por sua vez é inserido na entrada da malha do PID, para controlar o posicionamento do robô para um ângulo de referencia desejado dado por $r(n)$ (Fig. 7).

$$e(n) = r(n) - a(n) \quad (1)$$

$$y(t) = K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} + u_0 \quad (2)$$

$$y(n) = K_c e(n) + \frac{K_c T_z}{T_i} \sum_{i=0}^n e(i) + \frac{K_c T_d}{T_z} (e(n) - e(n-1)) + u_0 \quad (3)$$

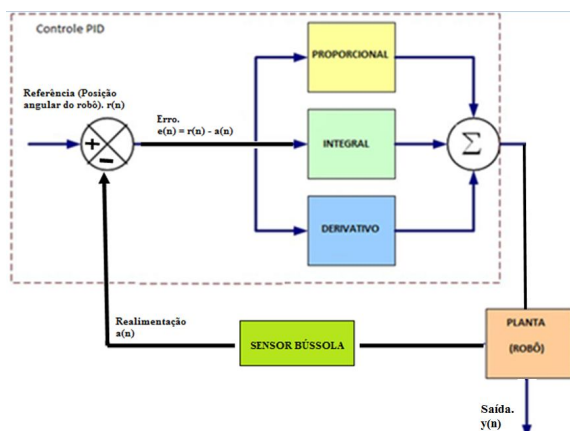


Figura 7: Controlador PID para o alinhamento do robô.

E. Comunicação por bluetooth

Ambos os robôs foram conectados numa rede, onde o robô que inicia na base à esquerda (Fig. 1) é definido como “mestre”. Ao iniciar os programas, o robô definido como “escravo” aguarda o recebimento da mensagem do robô mestre para iniciar suas tarefas do lado direito da arena, enquanto o robô mestre inicia as tarefas no lado esquerdo da arena. Ao desligar a válvula do lado direito, o robô mestre envia uma mensagem autorizando o robô escravo a retirar o cano danificado do oleoduto original.

A passagem do robô escravo para o lado direito da arena está condicionado ao recebimento de uma mensagem de

permissão do robô mestre, de forma que um não atrapalhe o outro em suas tarefas do mesmo lado.

V. RESULTADOS

O sistema desenvolvido proposto para solucionar o problema do vazamento de combustível atendeu as expectativas, realizando todo o percurso de forma segura e precisa. Durante a implementação desse desafio foi possível aplicar diversos conceitos adquiridos pelos participantes nos seus respectivos cursos de graduação. Dentre os conhecimentos específicos aplicados no projeto estão o controle PID (engenharia de automação), posicionamento através do campo magnético da Terra (engenharia aeroespacial), comunicação *bluetooth* (engenharia de informação), algoritmo de sincronismo dos motores e programação no NXC (ciência da computação), sistema antiderrapante e perfil da garra para pegar os canos (bioengenharia) e estratégias para diminuir o consumo de bateria (engenharia de energia).

VI. CONCLUSÃO

A interação entre as diversas áreas foi essencial para promover uma visão mais ampla do problema e implementar uma solução interdisciplinar para resolver o problema proposto da melhor forma possível.

O desenvolvimento desse projeto mostrou o grande potencial dos kits educacionais LEGO, que além de serem de baixo custo também são excelentes elementos de prototipagem, possibilitando o desenvolvimento de soluções interativas para diferentes situações do cotidiano.

REFERENCIAS

- [1] IEEE Standart Educational Kits. Site <http://www.larc10.fei.edu.br/RulesSek2010.pdf>. Acessado em Setembro de 2010.
- [2] Desastre no Golfo do México. Site <http://veja.abril.com.br/tema/desastre-ambiental-no-golfo-do-mexico>. Acessado em Setembro de 2010.
- [3] LEGO Mindstorms NXT. Site <http://mindstorms.lego.com/en-us/Default.aspx>. Acessado em Setembro de 2010.
- [4] Bricx Command Center 3.3. Site <http://bricxcc.sourceforge.net/>. Acessado em Setembro de 2010.
- [5] Viana, M. Robôs móveis. *Mecatrônica Fácil* 3(13), 14-16.
- [6] Hurbain, P. E. Site <http://www.philohome.com/nxtmotor/nxtmotor.htm>. Acessado em Setembro de 2010.
- [7] NXT Compass Sensor. Site <http://www.hitechnic.com/cgi-bin/commerce.cgi?preadd=action&key=NMC1034>. Acessado em Setembro de 2010.