

CAPÍTULO 1

ROBÔ MÓVEL AUTÔNOMO TERRESTRE PARA AUXÍLIO DE PESSOAS COM DIFICULDADE DE TRANSPORTE DE CARGA

Data de aceite: 01/03/2023

Márcio Mendonça

Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Emanuel Ignacio Garcia

Acadêmico do Departamento Acadêmico
de Engenharia Elétrica (DAELE)
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8501809850590859>

Vera Adriana Huang Azevedo Hypólito

Departamento Computação-E TEC Estácio
de Sá
Ourinhos-SP
<http://lattes.cnpq.br/6169590836932698>

André Luis Shiguemoto

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9243656534211182>

João Maurício Hypólito

Departamento Computação-FATEC
Ourinhos-SP
<http://lattes.cnpq.br/5499911577564060>

Michelle Eliza Casagrande Rocha

Universidade Norte do Paraná – Unopar
– Kroton
Londrina-PR
<http://lattes.cnpq.br/4411484670091641>

Fabio Rodrigo Milanez

Faculdade da Industria Senai
Londrina-PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Luiz Francisco Sanches Buzachero

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1747856636744006>

Matheus Gil Bovolenta

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Acadêmico do Departamento Acadêmico
de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Celso Alves Correa

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Mecânica (Damec)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8547137298279961>

Rodrigo Rodrigues Sumar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1461760661483683>

André Luis Shiguemoto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9243656534211182>

Vicente de Lima Gongora

Faculdade da Industria Senai
Londrina-PR
<http://lattes.cnpq.br/6169590836932698>

Marcio Aurélio Furtado Montezuma

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
Departamento Engenharia Mecânica (DAMEC)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/2487283169795744>

Andressa Haiduk

Dimension Engenharia
Ponta Grossa - Pr
<http://lattes.cnpq.br/2786786167224165>

Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)

Emerson Ravazzi Pires da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica Daele Cornelio Procopio
<http://lattes.cnpq.br/0797649979829091>

RESUMO: A robótica é uma crescente área de estudo, que busca realizar tarefas comumente realizadas pelo homem através do uso de máquinas. A robótica móvel trata-se de uma área da robótica, que utiliza da dinâmica de sistemas mecânicos para a realização de tarefas. Para a realização das mesmas, os robôs móveis utilizam de sensores, que são responsáveis pela obtenção de informação do ambiente no qual o robô está inserido. A robótica assistiva, por sua vez, trata-se de uma área da robótica responsável pela utilização de robôs autônomos para ajudar, sobretudo, pessoas acometidas por deficiências ou limitações, como por exemplo, o uso de robôs para o transporte de cargas para gestantes e idosos. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um robô móvel autônomo de baixo custo, capaz de realizar o transporte de carga para seu usuário, perseguindo o mesmo e desviando de obstáculos,

situação análoga à um robô seguidor de líder. Para isto, feito uso de um controlador *Fuzzy*, juntamente à uma máquina de estados. Foi desenvolvido uma simulação e um protótipo, ambos capazes de seguir o alvo desejado e desviar de obstáculos em tempo real. Esse trabalho se encerra com uma conclusão e sugestão para futuros trabalhos.

PALAVRAS-CHAVE: Aplicações tecnológicas em meio social; Robótica assistiva; Robótica autônoma.

AUTONOMOUS LAND MOBILE ROBOT TO HELP PEOPLE WITH DIFFICULTY CARRYING WEIGHT

ABSTRACT: Robotics is a growing area of study, which seeks to perform tasks commonly performed by man using machines. Mobile robotics is an area of robotics, which uses the dynamics of mechanical systems to perform tasks. To carry out the same, mobile robots use sensors, which are responsible for obtaining information from the environment in which the robot is inserted. Assistive robotics, in turn, is an area of robotics responsible for the use of autonomous robots to help, above all, people with disabilities or limitations, such as the use of robots to transport loads for pregnant women and/or the old people. The objective of this work is the development of an autonomous low-cost mobile robot, capable of carrying cargo to its user, chasing it and avoiding obstacles, a situation analogous to a leader-following robot. For this, a fuzzy controller was used, together with a state machine. A simulation and a prototype were developed, both capable of following the desired target and dodging obstacles in real-time. This work ends with a conclusion and suggestion of future works.

KEYWORDS: Technological applications in social environment; Service robotics; Autonomous robotics.

1 | INTRODUÇÃO

A robótica surgiu como maneira de automatizar o trabalho humano perigoso e repetitivo presente nas fábricas através do uso de máquinas. Durante os últimos 70 anos, o estudo da robótica teve seu foco na busca pelas soluções técnicas das aplicações da robótica (E. Garcia *et al*, 2007). Com o passar do tempo, a modernização da sociedade trouxe uma nova demanda de serviços, com maior grau de autonomia e robustez, de forma que os robôs agora não são necessários apenas na indústria, mas também na prestação de serviços aos seres humanos. O avanço da robótica, nas suas mais diferentes áreas, acabou aproximando a mesma ao ser humano, através da robótica de serviços e de campo (E. Garcia *et al*, 2007).

Para muitos pesquisadores a robótica é dividida em um duas áreas, robótica programada e robótica inteligente, ou seja na programada se houver alguma alteração na atividade do robô, o mesmo terá que ser reprogramado (MENDONÇA *et al.*, 2020). Já na robótica autônoma, o robô deve ser capaz de aprender e de se adaptar (duas premissas da inteligência artificial, de forma especifica sistemas computacionais inteligentes) (Semi-Unknown Environments Exploration Inspired by (Swarm Robotics using Fuzzy Cognitive Maps). Alias a imitação do comportamento humano sempre foi motivo de inspiração da

robótica inteligente. Alias essas duas Áreas devem trabalhar juntas e atualmente é quase impossível separar uma da outra. Porém para esse objetivo algumas considerações devem ser feitas a seguir.

Como ramo da ciência da computação, a Inteligência Artificial (IA) busca incutir em dispositivos eletrônicos capacidades similares ao raciocínio humano, como a análise e a tomada de decisões. Em outras palavras, o objetivo da IA é imitar (talvez, até mesmo superar) a inteligência humana (MAJAJ. MATARIC, 2008).

Diferentemente dos primeiros robôs desenvolvidos, utilizados para realizar operações repetitivas, a aplicação de robôs na medicina tem direta relação com o ser humano e tem proporcionado grandes benefícios aos seus pacientes. O uso de robôs em cirurgias possibilita maior precisão ao cirurgião que o opera, evitando movimentos bruscos, proporcionando menor evasão ao paciente, e servindo como uma extensão da limitação humana do cirurgião (A. M. Okamura, M. J. Mataric and H. I. Christensen, 2010).

Não só dentro das salas de cirurgias, o uso de robôs na medicina faz presente robôs enfermeiros, como no trabalho de J. Pineau *et al* (2003), onde um robô móvel foi desenvolvido para ajudar idosos portadores de pequenas limitações físicas e cognitivas, fornecendo informações e guiando os idosos, auxiliando ainda o trabalho dos enfermeiros.

A robótica móvel, por sua vez, teve início juntamente com a aplicação de robôs nas linhas de produção, sendo utilizados de maneira guiada para o transporte de objetos, através de trajetos pré-definidos dentro das fábricas. Atualmente, os robôs móveis atuam de maneira autônoma, não só dentro de fábricas, mas assim como em ambientes abertos, através da arquitetura: percepção, auto localização, planejamento de trajetória e execução do movimento (E. Garcia *et al*, 2007).

Dentre as mais diversas tarefas desempenhadas pelos robôs móveis, como transporte de carga e exploração, por exemplo, destaca-se a necessidade de que estes robôs, por vezes, busquem e sigam alvos em ambientes presentes de obstáculos (Y. Meng, X. Liu e Z. Liang, 2007). Esta tarefa pode ser realizada fazendo uso de sensores ultrassônicos ou câmeras, como na maior parte dos casos, onde estes sensores são capazes de fornecer a posição ou distância entre o alvo a ser perseguido e o robô, dados posteriormente utilizados para realizar o planejamento da trajetória do robô.

A motivação deste trabalho está em realizar o desenvolvimento de um robô capaz de realizar o transporte de pequenas cargas, similares às pequenas malas de viagem, para pessoas acometidas por limitações físicas, como idosos e gestantes, por exemplo, poupando-os do esforço físico. Aplicações de robôs na área de robótica de serviços e robótica assistiva relacionam-se diretamente com este estudo.

Outra possível motivação desse trabalho está na ergonomia. A ergonomia ou engenharia humana é uma ciência relativamente recente que estuda as relações entre o homem e seu ambiente de trabalho e definida pela Organização Internacional do Trabalho - OIT como “A aplicação das ciências biológicas humanas em conjunto com os recursos e

técnicas da engenharia para alcançar o ajustamento mútuo, ideal entre o homem e o seu trabalho, e cujos resultados se medem em termos de eficiência humana e bem-estar no trabalho”. Os riscos ergonômicos são os fatores que podem afetar a integridade física ou mental do trabalhador, proporcionando-lhe desconforto ou doença.

São considerados riscos ergonômicos: esforço físico, levantamento de peso, postura inadequada, controle rígido de produtividade, situação de estresse, trabalhos em período noturno, jornada de trabalho prolongada, monotonia e repetitividade, imposição de rotina intensa.

Os riscos ergonômicos podem gerar distúrbios psicológicos e fisiológicos e provocar sérios danos à saúde do trabalhador porque produzem alterações no organismo e estado emocional, comprometendo sua produtividade, saúde e segurança, tais como: LER/DORT, cansaço físico, dores musculares, hipertensão arterial, alteração do sono, diabetes, doenças nervosas, taquicardia, doenças do aparelho digestivo (gastrite e úlcera), tensão, ansiedade, problemas de coluna etc.

Desse modo, para evitar que estes riscos comprometam as atividades e a saúde do trabalhador, é necessário um ajuste entre as condições de trabalho ou mesmo no caso de transporte de carga em um ambiente comum, e o homem sob os aspectos de praticidade, conforto físico e psíquico por meio de: melhoria no processo de trabalho, melhores condições no local de trabalho, modernização de máquinas e equipamentos, melhoria no relacionamento entre as pessoas, alteração no ritmo de trabalho, ferramentas adequadas, postura adequada, etc. O que se espera auxiliar pessoas com mobilidades e forças reduzidas como por exemplo de mulheres grávidas e idosos possam ter o auxílio de um robô para melhoria ergonômica dele.

Este trabalho está dividido da seguinte forma. Na seção 2 aspectos de desenvolvimento do robô são abordados. Já a seção 3 apresenta aspectos do desenvolvimento do controlador *Fuzzy* e discute resultados ainda que iniciais, bem como aspectos da prototipagem (próxima etapa da pesquisa). E finalmente a seção 4 conclui e sugere futuros trabalhos

2 | DESENVOLVIMENTO

O objetivo do presente trabalho é realizar o desenvolvimento de um robô móvel de baixo custo, capaz de realizar o transporte de cargas de até 10 quilogramas para pessoas acometidas por limitações físicas, como gestantes e idosos. O robô desenvolvido deve ser capaz de seguir o usuário do robô, desviando de obstáculos e evitando colisões em tempo real. Para isto, deverá ser desenvolvido a estrutura do robô, sendo esta composta por: chassis, rodas e motores; eletrônica do robô, sendo esta: ponte-h, microcontrolador ou computador e sensores (sensor ultrassônico ou câmera), parte responsável pela obtenção de dados e integração do sistema; assim como uma programação, responsável pela interpretação dos dados dos sensores e tomada de decisão.

Inicialmente, o sistema deve ser capaz de identificar a distância entre o robô e o alvo. Para isto, será feito o uso de sensores ultrassônicos ou uma câmera capaz de determinar tal distância. A distância obtida será utilizada para determinar o pulso enviado aos motores do robô, que por sua vez, determinará a velocidade deste, onde: caso o alvo esteja longe, maior deverá ser a velocidade do robô, e caso o alvo esteja perto, menor deverá ser a velocidade do robô.

A saída fornecida às rodas do robô poderá ser feita utilizando de lógica multivalorada, ou ainda lógica *Fuzzy*, atentando-se à capacidade computacional do sistema embarcado escolhido. O uso destes controladores facilitará a modelagem do sistema de controle quando comparado à modelagem matemática necessária para controladores PID, principalmente caso as variáveis de entrada não sejam apenas uma, visto que controladores PID apresentam alta complexidade em sua modelagem para sistemas multivariáveis (SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S., 2007). Um exemplo seria a modelagem utilizando as variáveis distância entre robô e alvo e ângulo entre robô e alvo.

Para identificação do alvo que deve ser seguido, poderá ser utilizado de um sistema análogo ao trabalho de M. N. A. Bakar *et al* (2011), onde foi feito o uso de marcadores para identificação do usuário do robô. Os parâmetros utilizados para identificação do marcador foram cor e formato, apresentando resultados satisfatórios mesmo para condições adversas de iluminação do ambiente.

Posteriormente, deverá ser realizado o desenvolvimento de um sistema de segurança capaz de evitar a colisão do robô com obstáculos que apareçam entre o alvo e o robô, evitando ainda colisões com o próprio usuário. O desvio dos obstáculos poderá ser interpretado de duas formas: na primeira, o robô deverá ser capaz de executar uma manobra de desvio do obstáculo à sua frente, quando o obstáculo se encontrar estático no ambiente. Para obstáculos dinâmicos, o robô deverá apenas esperar o alvo sair de sua frente para seguir em diante; na segunda, o robô deverá manter-se o mais próximo ao usuário possível, evitando com que obstáculos interfiram no espaço robô-usuário, sem comprometer a segurança do usuário.

O sistema embarcado deverá ser capaz de suportar a complexidade computacional do software utilizado. O uso de microcontrolador de baixo custo, como por exemplo o Arduino, proporcionará maior facilidade de implementação, menor custo, porém menor capacidade computacional, enquanto o uso de um computador de aproximada dimensão e maior força computacional, como por exemplo o Raspberry Pi, fornecerá menor facilidade de implementação, maior custo, mas em compensação, maior capacidade computacional do sistema, viabilizando, por exemplo, o uso de um sistema de visão computacional e controle via lógica *Fuzzy* de maneira conjunta.

Os materiais utilizados, desta forma, serão: chassi, duas rodas, uma ou duas rodas bobas, dois motores, um microcontrolador (Arduino) ou um computador (Raspberry Pi), um a três sensores ultrassônicos, uma câmera, uma ponte-h ou dois controladores de corrente

alta, *jumpers* variados e fios variados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Simulação

Para validação do modelo de controle a ser aferido ao protótipo foram realizadas simulações de um robô móvel na ferramenta computacional MATLAB. Foram comparadas simulações utilizando controlador *Fuzzy* e controlador através de lógica multivalorada. Para isto, foi feito uso de um controlador *Fuzzy*, utilizado para obtenção dos pulsos enviados às rodas do robô, a partir da distância euclidiana entre robô e alvo. A Tabela 1 apresenta as funções utilizadas como base de regras para o controlador *Fuzzy* desenvolvido, sendo hi a distância euclidiana entre robô e alvo, e $const$ o acréscimo dado ao pulso enviado às rodas do robô. A Figura 1 mostra a estrutura do sistema *Fuzzy*. A Figura 2, por sua vez, apresenta a superfície gerada pelo controlador *Fuzzy* desenvolvido.

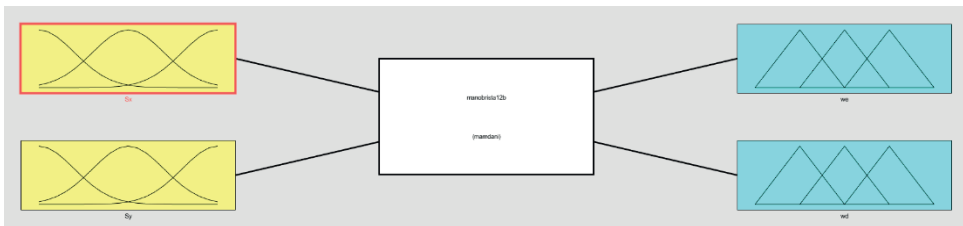


Figura 1: Estrutura do sistema *Fuzzy*.

Fonte: Autores, 2023.

Nessa figura é possível identificar as variáveis *Fuzzy* de entrada e saída, as entradas são a priori a distância da pessoa, e as saídas os pulsos nas rodas do modelo cinemático, e a posteriori do protótipo.

-
1. Se (hi é perto) então ($const$ é pouco)
 2. Se (hi é médio) então ($const$ é médio)
 3. Se (hi é médio_longe) então ($const$ é médio_muito)
 4. Se (hi é longe) então ($const$ é médio)
-

Tabela 1: Base de regras do controlador *Fuzzy*

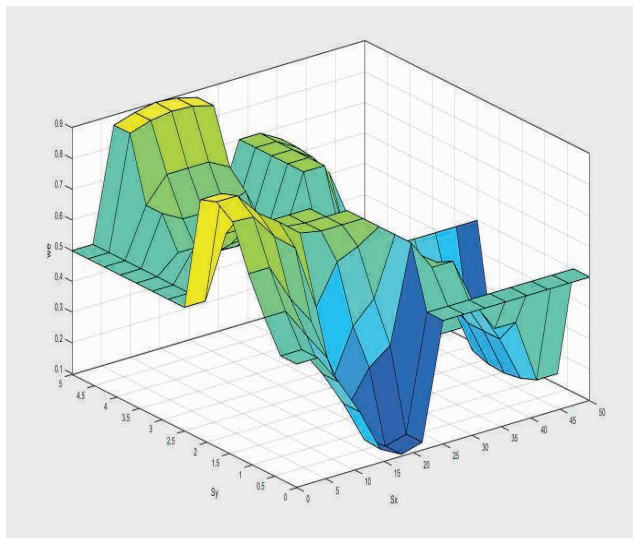


Figura 2: Superfície *Fuzzy* do controlador.

Fonte: Autores, 2023.

O robô inicia na origem do plano cartesiano, enquanto o alvo, por sua vez, inicia na posição [15,15] do plano. Conforme o robô se aproxima do alvo, este passa a se distanciar do robô, tendo sua posição horizontal e vertical alterada. A Figura 3 apresenta o resultado obtido da primeira simulação do robô móvel. A Figura 4, por sua vez, apresenta o resultado obtido da segunda simulação. O robô é exibido pela figura amarela, enquanto o alvo é representado pela estrela vermelha. O trajeto realizado pelo robô é a linha preta presente no gráfico, a estrela azul, por sua vez, é a posição inicial do robô móvel.

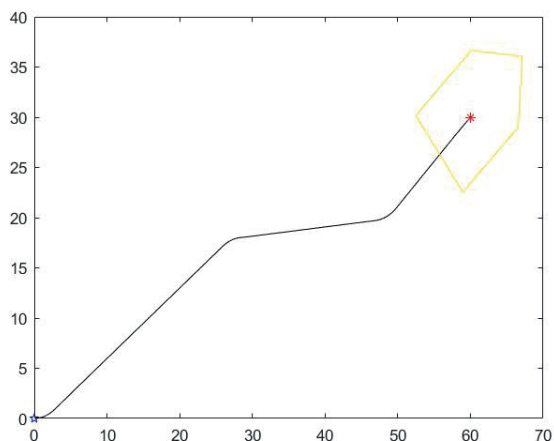


Figura 3: Simulação do robô móvel.

Fonte: Autores, 2023.

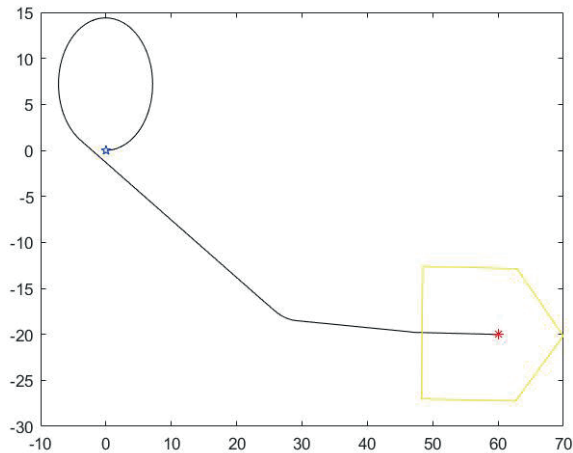


Figura 4: Simulação do robô móvel.

Fonte: Autores, 2023.

Os resultados obtidos, ainda que iniciais, apresentaram resultado satisfatório para a realização da perseguição de alvo. Para pequenos valores de erro estipulados, a complexidade computacional não foi comprometida.

3.2 Prototipagem

Para validação do sistema de perseguição do alvo escolhido em mundo real, foi desenvolvido o protótipo de um robô móvel apresentado na Figura 5. Para desenvolvimento do protótipo foi feito o uso do microcontrolador Arduino UNO R3 assim como uma câmera ESP-32.

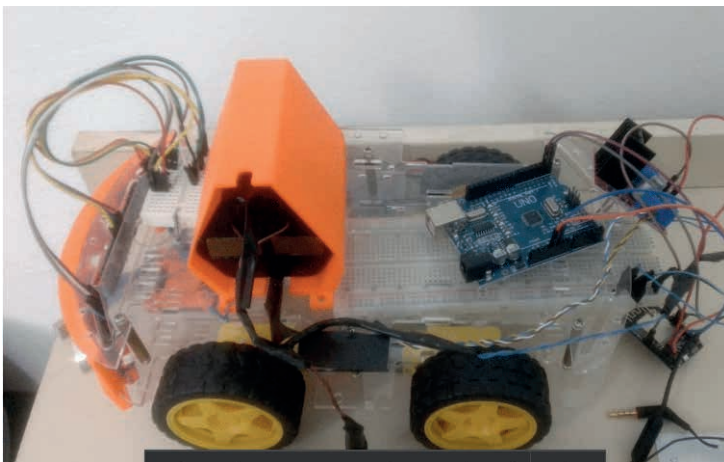


Figura 5: Robô móvel desenvolvido.

Fonte: Autores, 2023.

O teste realizado para detecção dos marcadores é apresentado na Figura 6.

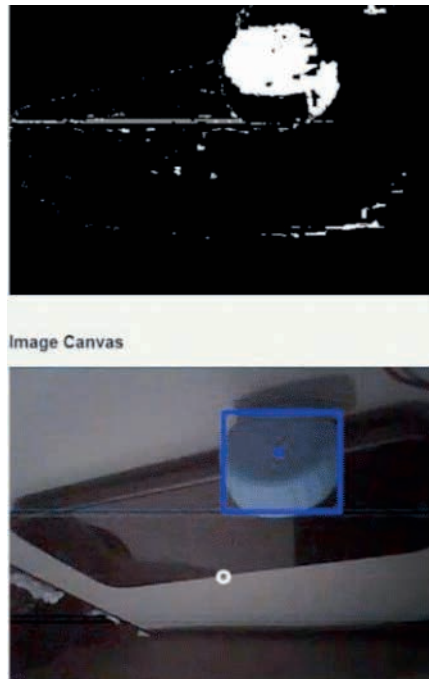


Figura 6: Identificação dos marcadores.

Fonte: Autores, 2023.

Os resultados ainda são iniciais. O sistema detector de alvo através das imagens da câmera apresentou resultados satisfatórios na detecção dos marcadores utilizados. Entretanto, o sistema apresentou instabilidade durante seu uso, sendo presente congelamentos do *software* mesmo durante breves períodos de operação do protótipo.

4 | CONCLUSÃO

Neste artigo, foi proposto o desenvolvimento de um robô capaz de realizar o transporte de carga de maneira autônoma. A combinação do uso de uma câmera e sensores ultrassônicos se mostrou eficaz na identificação do alvo, o protótipo, por sua vez, mostrou ser capaz de responder aos comandos de controle necessários para a perseguição.

Os resultados experimentais, ainda que iniciais, mostram-se promissores, sendo cogitado para trabalhos futuros, a implementação de sistemas embarcados com maior poder de processamento, para melhorar a robustez da proposta.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica concedida ao primeiro autor deste trabalho.

REFERÊNCIAS

A. M. Okamura, M. J. Mataric and H. I. Christensen, “**Medical and Health-Care Robotics**,” in *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 17, no. 3, pp. 26-37, Sept. 2010.

E. Garcia, M. A. Jimenez, P. G. De Santos, and M. Armada, “**The evolution of robotics research**,” in *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 14, no. 1, pp. 90-103, March 2007.

J. Pineau, M. Montemerlo, M. Pollack, N. Roy, and S. Thrun, “**Towards robotic assistants in nursing homes: challenges and results**,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 42, pp. 271 – 281, 2003.

M. N. A. Bakar, R. Nagarajan and A. R. M. Saad, “**Development of a doctor following mobile robot with Mono-vision based marker detection**,” 2011 IEEE Applied Power Electronics Colloquium (IAPEC), 2011, pp. 86-91, doi: 10.1109/IAPEC.2011.5779843.

MAJA J. MATARIC. The robotics primer. **Choice Reviews Online**, v. 45, n. 06, p. 45-3222-45-3222, 1 fev. 2008.

Mendonça, M. et al. **multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization**. IEEE International Conference on Fuzzy Systems. **Anais...**Glasgow, UK: IEEE, 2020

Oda, Leila, Ávila, Suzana et al. **Biossegurança em Laboratórios de Saúde Pública**. Brasília. Ministério da Saúde, 1998.

Simões, Marcelo Godoy; Shaw, Ian S. **Controle e Modelagem Fuzzy**. 2ª ed. São Paulo: Blücher, 2007. p. 10.

Y. Meng, X. Liu, and Z. Liang, “**A Robust Method for Mobile Robot Tracking Object on Behaviour-Based Robotics**,” 2007 First IEEE International Symposium on Information Technologies and Applications in Education, 2007, pp. 468-472.