

O USO DA LÓGICA PARACONSISTENTE ANOTADA NO DESLOCAMENTO DE ROBÔS TERRESTRES AUTÔNOMOS EM CORREDORES DE CENTROS LOGÍSTICOS

Flávio Amadeu Bernardini – Universidade Paulista

flavioambearnar@gmail.com

Prof. Dr. Jair Abe Minoro – Universidade Paulista

jairabe@uol.com.br

Prof. Me. Luiz Antônio de Lima – Universidade Paulista

aula.prof.luiz@gmail.com

Me. Jonatas Santos De Souza – Universidade Paulista

jonatas1516@gmail.com

Nilson Amado de Souza – Universidade Paulista

nilson.amado@gmail.com

Prof.^a Ma. Liliam Sayuri Sakamoto – Universidade Paulista

liliam.sakamoto@gmail.com

Prof. Me. Angel Antônio Gonzalez Martinez – Universidade Paulista

aagmartinez@gmail.com

Resumo

Em virtude do impulso da Indústria 4.0 em vários setores produtivos e de serviços, destacam-se os investimentos acadêmicos e empresariais no desenvolvimento de novas tecnologias no setor de logística. Diante da pesquisa realizada propõe-se nesse trabalho um protótipo de robô autônomo móvel terrestre que deve percorrer corredores em *layouts* específicos, com corredores simétricos, como é o caso dos centros de logística. O robô poderá realizar tarefas como transporte de produtos, monitoramento, etc.

Para a análise do desempenho foi construído um protótipo de robô de baixo custo, programado nos conceitos da Lógica Paraconsistente Anotada $E\tau$, e realização de simulações em *software* de eletrônica. Para finalizar o robô foi submetido a testes de desempenho em uma planta simétrica com escala reduzida.

Palavras-chave: Tecnologia Autônoma; Lógica Não-Clássica; Lógica Paraconsistente.

Abstract

Due to the boost of Industry 4.0 in various productive and service sectors, academic and business investments in the development of new technologies in the logistics sector stand out. In view of the research carried out, this work proposes a prototype of an autonomous land mobile robot that must travel along aisles in specific layouts, with symmetrical aisles, as is the case of logistics centers. The robot will be able to perform tasks such as product transportation, monitoring, etc. For the performance analysis a low-cost robot prototype was built, programmed in the concepts of the Annotated Paraconsistent Logic $E\tau$, and simulations were performed in electronics software. Finally, the robot was submitted to performance tests in a scaled-down symmetrical plant.

Keywords: Autonomous Technology; Non-Classical Logic; Paraconsistent Logic.

Introdução

As iniciativas da indústria 4.0 podem influenciar todo o sistema de negócios através da transformação dos meios de origem, produção, entrega e descarte dos produtos. Isso também se aplica à gestão da cadeia de suprimentos, onde muitas empresas enfrentarão diversos desafios. Partindo desse princípio, os autores (TJAHJONO et al., 2017) realizaram uma análise preliminar sobre o impacto da Indústria 4.0 na Gestão da Cadeia de Suprimentos e tiveram como objetivo fornecer uma visão para a Cadeia de Suprimentos 4.0. Eles limitaram o escopo da análise para incluir apenas quatro funções dentro de uma cadeia de suprimentos, que foram compras, logística de transporte, armazém e cumprimento de pedidos. Isso foi apresentado em relação aos *Key Performance Indicator*¹ (KPIs) para a Gestão da Cadeia de Suprimentos. Uma

¹ Indicadores-chave de Desempenho.

revisão bibliográfica foi então realizada para entender a área em que a cadeia de suprimentos foi vinculada a Indústria 4.0. Uma vez que as áreas foram enquadradas, foram os KPIs, também conhecidos como variáveis influenciadoras. Então, esses foram utilizados para avaliar as implicações de diferentes novas tecnologias para essas áreas, tais como Manufatura Aditiva 3D, *Internet of Things*² (IoT), *Database Administrator*³ (DBA), *Radio-Frequency Identification*⁴ (RFID) e robótica. Os autores concluem informando que as áreas que serão mais afetadas pela introdução da Indústria 4.0 são as da ordem de atendimento ao pedido do cliente e logística de transporte. Com relação à pesquisa, a robótica dentre outras tecnologias, podem ser identificadas como oportunidade de negócios em algumas áreas da logística.

Os autores BONA et al. (2014) discutiram a plataforma MACP4Log (*Mobile Autonomous and Cooperating robotic Platforms for supervision and monitoring of large LOGistic surfaces*⁵) que se trata de um projeto de pesquisa, destinado ao estudo e o desenvolvimento de um conjunto de algoritmos e serviços, permitindo a navegação autônoma de uma equipe robôs em grandes espaços logísticos. Explorando a cooperação, através da comunicação com um supervisor e entre os robôs que compõem a equipe. Eles relataram e discutiram os principais resultados alcançados nessa atividade de pesquisa, tanto do ponto de vista metodológico quanto experimental. As plataformas robóticas adotadas para os testes experimentais foram os clássicos robôs móveis diferenciais *Pioneer P3-DX*⁶. A equipe é composta por três robôs, distinguíveis por meio de um código de barras e equipados com sensores de proximidade do tipo sonar. Os autores concluem afirmando que o projeto não foi destinado a uma aplicação específica, sendo assim, foi possível considerar vários cenários, analisando e desenvolvendo diferentes estratégias para alcançar soluções adequadas. Tudo isso, dentro de uma variedade de possíveis problemas e dificuldades em ambientes logísticos.

Os autores FARINELLI, ZANOTTO & PAGELLO. (2017) acreditam que a autonomia é um componente crucial para a tecnologia robótica e existem diversas iniciativas para avaliar e desafiar sistemas robóticos autônomos em diversos cenários, como atividades domésticas, industriais e de transporte em centros logísticos. Neste

² Internet das Coisas.

³ Administrador de banco de dados ou Analista de Banco de Dados.

⁴ Identificação por Radiofrequência.

⁵ Plataformas robóticas móveis autônomas e cooperantes para supervisão e monitoramento de grandes superfícies Logísticas.

⁶ É um pequeno robô de tração diferencial de dois motores e duas rodas ideal para uso interno em laboratório ou sala de aula.

trabalho, eles realizaram uma simulação de computador para um ambiente de armazém na atribuição de tarefas em um sistema multi-robô, para avaliar o desempenho das tecnologias e algoritmos utilizados. O desafio proposto é realizar tarefas de carregamento e descarga do armazém por uma equipe de robôs, onde o número de robôs envolvidos e o tempo gasto para cumprir as tarefas foram avaliados. Eles concluem que a melhor maneira de avaliar o sistema multi-robô é coletando dados e interpretando gráficos estatísticos.

De acordo com os autores MEHAMI, NAWI & ZHONG (2018), os *Automated Guided Vehicles*⁷ (AGV) são amplamente utilizados para transportar bens e materiais para diferentes partes de uma fábrica, e são considerados os mais eficientes e adequados para essas aplicações. Os sistemas AGV devem ser capazes de lidar com diferentes situações, como uma mudança no *layout*⁸, e operar em um ambiente dinâmico. Esses desafios requerem tomada de decisão inteligente dentro de um ambiente de fábrica ou centro de logística. Os autores construíram dois modelos distintos de protótipos de AGV, e com alguns componentes da parte mecânica construídos numa impressora 3D. Eles construíram o *layout* de uma planta baixa de uma fábrica, em menor escala, para os testes dos AGVs atuarem em um *Reconfigurable Manufacturing System*⁹ (RMS). Um dos protótipos utilizou uma fita magnética do tipo robô segue faixa, ao passo que o outro modelo utilizou um sistema de RFID para a navegação. Ambos os modelos utilizaram RFID para os pontos de parada, assim como sensores ultrassônicos para evitar colisões com obstáculos. Eles concluem afirmando que o modelo segue faixa apresentou alguns problemas para andar em linha reta, mas ressaltam que ambos os protótipos realizaram as tarefas programadas de forma satisfatória.

Este estudo bibliográfico destaca a relevância do desenvolvimento de novas tecnologias na área de robótica para atividades em centros logísticos. Este artigo propõe uma análise do deslocamento de um robô móvel terrestre autônomo em corredores de centros logísticos, utilizando a Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et. Para isso, foi desenvolvido um protótipo de robô equipado com sensores ultrassônicos frontais e laterais e um servo motor para controle de direção. O robô foi submetido a testes de performance em um modelo de centro de logística com escala

⁷ Veículos Guiados Automatizados

⁸ Esquema, Modelo ou Configuração

⁹ Sistema de Manufatura Reconfigurável

reduzida, para verificar a capacidade do algoritmo paraconsistente evitar colisões com obstáculos.

A Utilização da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et em Robôs Terrestres

A Lógica Paraconsistente Evidencial Et vem se destacando ao longo dos últimos anos como uma poderosa ferramenta que pode ser utilizada no controle de sistema dinâmicos, desenvolvimento de softwares e em robótica. Historicamente, desde o pensamento aristotélico a Lógica tem contribuído com o pensamento correto e pelo fato de no mundo as observações não se limitarem a estados falsos e verdadeiros, busca-se frequentemente relacionar o raciocínio ao conhecimento. Ao longo do tempo, a Lógica se dividiu em clássica e não-clássica, e dentro desta última, a Lógica Paraconsistente vem ocupando um lugar de destaque, pois trata os princípios da contradição, além de princípios básicos da Lógica Clássica de Aristóteles (ABE et al., 2011).

Em 1878 o filósofo russo N.A. Vasilév nomeou como Lógica Imaginária, e o polonês J. Łukasiewicz Lvov anunciou a Lógica Trivalente: Verdadeiro, Falso, Possível. Já em meados da década de 1950, o polonês S. Jaskowski e o matemático lógico brasileiro Newton C. A. da Costa propuseram a contradição na estrutura da Lógica e ficaram conhecidos como os fundadores da Lógica Paraconsistente (ABE et al., 2011). Em meados de 1976, o filósofo peruano Francisco Miró Quesada, nomeou de Lógica de "Paraconsistente".

Com relação à aplicação da Lógica Paraconsistente, em 1999 foi construído o robô móvel autônomo Emmy I que consiste em uma torre móvel com base circular de alumínio de 30cm diâmetro e 60 cm de altura. O robô foi projetado em quatro placas de circuitos eletrônicos sobrepostas separadas por função no sistema de controle, com o intuito de facilitar a visualização da ação de cada módulo no controle de movimentação do robô (DA SILVA FILHO et al., 1999). Os autores utilizaram dois dispositivos ultrassônicos denominados Parasônico localizados na frente do robô móvel para a detecção de possíveis obstáculos. Apesar das dificuldades técnicas tais como frenagem, ausência de multivelocidades e sincronismos de rotação entre os motores, eles afirmam que os testes efetuados demonstraram que o ParaControl apresentou um bom desempenho. O sistema demonstrou boa capacidade de modificar

o comportamento do robô quando ocorrem modificações inesperadas nas condições ambientais.

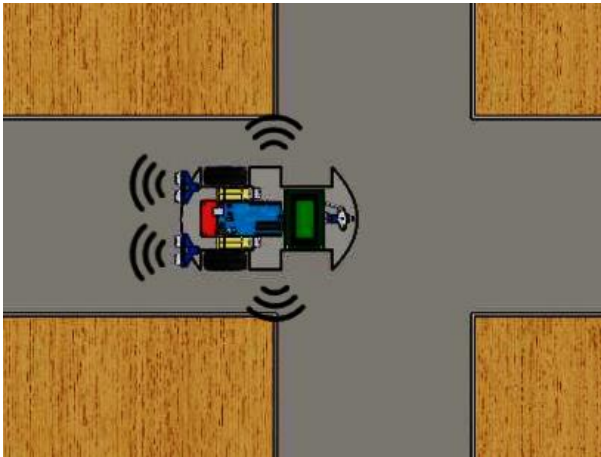
Os autores TORRES, ABE & TORRES (2004) construíram um protótipo de robô chamado de Emmy II com significativas reduções em suas dimensões, em relação ao seu antecessor. Neste caso, também foram utilizados sensores ultrassônicos para percepção de obstáculos, durante a navegação. Eles realizaram uma programação com base na Lógica Paraconsistente Anotada. As modificações da parte estrutural e na parte eletrônica do protótipo, possibilitaram uma melhoria significativa no desempenho da movimentação do robô com a redução do número de colisões durante os ensaios.

O mesmo grupo de pesquisadores deu sequência nos trabalhos, através do protótipo Emmy III. A ideia principal dos autores consistia em melhorar esta versão no sentido de ampliar as capacidades de navegação do robô através de uma tarefa com uma origem e um destino a serem cumpridos como meta. Através de um sistema computacional que recebe informações de sensores distribuídos no ambiente, mapeiam o ambiente por coordenadas. Essas informações são transmitidas ao sistema eletrônico que manobra o robô durante o deslocamento. Segundo os autores essas informações são muitas vezes conflitantes ou divergentes, daí a Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et auxilia na solução desses conflitos (ABE et al., 2009).

Proposta do Projeto e Protótipo do Robô Terrestre

A proposta do projeto, vista na Figura 1, consiste em construir um protótipo de um robô móvel terrestre autônomo que irá circular pelos corredores simétricos de um centro de logística, e será capaz de realizar tarefas de monitoramento, rastreamento e transporte de materiais. Os sensores laterais, utilizam-se das prateleiras localizadas nos corredores como referências, e assim manter o robô móvel no centro do corredor. Já os sensores frontais são utilizados para perceber a presença de possíveis obstáculos.

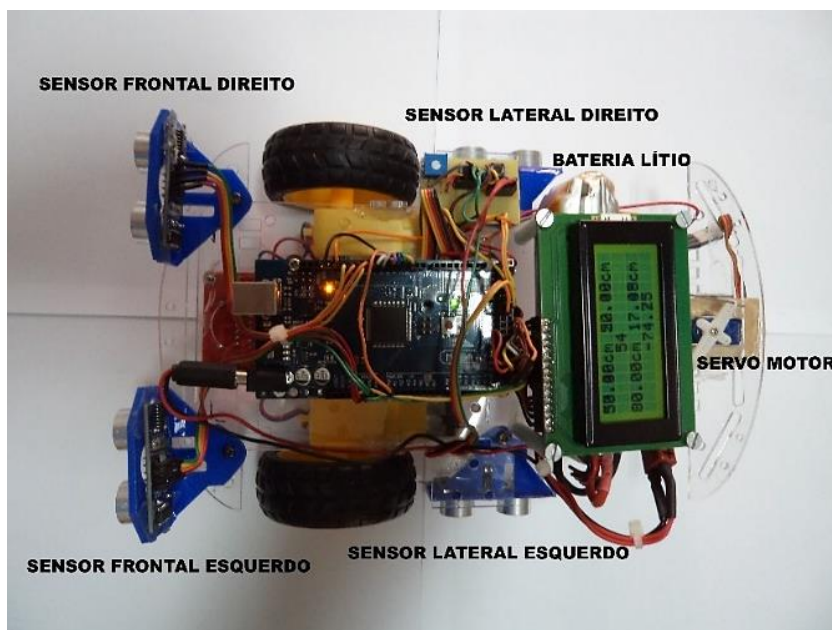
Figura 1 - Robô terrestre percorrendo corredores



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 2 mostra a estrutura geral e todos os dispositivos elétricos e eletrônicos utilizados. O robô foi montado em um chassi 4WD, os quatro sensores ultrassônicos foram devidamente instalados. Eles enviam sinais para o microcontrolador alertando sobre possíveis obstáculos, ou um deslocamento muito próximo com relação às prateleiras laterais.

Figura 2 - Protótipo do robô terrestre



Fonte: Elaborado pelos autores.

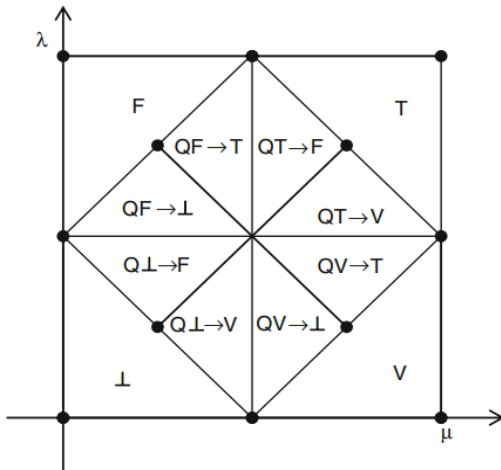
As informações dos sensores frontais e laterais serão transformadas em sinais elétricos e enviadas ao microcontrolador Atmega 2560, programado em Linguagem C/C++. Este por sua vez controla os motores de tração, bem como ao servo motor de direção do robô móvel terrestre autônomo, e assim evitará colisões durante o deslocamento. A programação Linguagem C/C++, foi incorporada nos conceitos da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et. Foi instalado um *display*¹⁰ LCD para monitoramento de leituras de todos os sensores, assim como o ângulo do controle de direção servo motor. Durante a trajetória do robô móvel essas variáveis serão observadas, a fim de fazer os ajustes necessários na programação do algoritmo paraconsistente. Para equipar o protótipo, optou-se por uma bateria de lítio por ser muito leve e com grande capacidade de armazenamento de energia.

Metodologia

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica na área de robótica focada na aplicação em centros logísticos, seguida de uma pesquisa da Lógica Paraconsistente para aplicação em algoritmo de navegação. Para isso, foi adotado um ambiente de um armazém, em escala reduzida cujos corredores têm 80cm de largura como padrão, para a devida avaliação do movimento do robô. A partir dessa proposta, a programação do microcontrolador em Linguagem C/C++ foi elaborada nos conceitos de Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et, por meio de um algoritmo paraconsistente incorporado, que desempenhará um papel fundamental na assistência à tomada de decisão (ABE, 2015). Para o início do desenvolvimento do algoritmo paraconsistente, o reticulado na Figura 3 foi usado como referência (ABE et al., 2011).

Figura 3 - Aspecto do reticulado para tomar decisões

¹⁰ Tela ou Visor



Fonte: (ABE et al., 2011).

Com base no reticulado apresentado, na estrutura do robô móvel autônomo terrestre proposto e na proposição: "A frente do robô está livre", a Tabela 1 foi elaborada. As distâncias medidas pelos sensores esquerdo e direito foram convertidas, respectivamente, pela evidência favorável μ e pela evidência contrária λ , através de um cálculo de normalização desses valores. Em seguida, o grau de incerteza foi calculado através dos conceitos de Lógica Paraconsistente.

Tabela 1 - Valores do algoritmo paraconsistente

Situação	Sensores Frontais				Grau de Incerteza	Setpoint Servo Motor (°)
	Esquerdo (cm)	μ	Direito (cm)	λ		
1	5	0,125	40	0	-0,875	-82,86
2	10	0,25	35	0,125	-0,625	-59,18
3	15	0,375	30	0,25	-0,375	-35,51
4	20	0,5	25	0,375	-0,125	-11,83
5	25	0,625	20	0,5	0,125	11,83
6	30	0,75	15	0,625	0,375	35,51
7	35	0,875	10	0,75	0,625	59,18
8	40	1	5	0,875	0,875	82,86

Fonte: Elaborado pelos autores.

Desta forma, o grau de incerteza fornece valores precisos e decisivos para determinar a posição correta do servo motor, para cada uma das situações sob a presença de obstáculos. Na última coluna da Tabela 1, observam-se os valores do ângulo apontado pelo servo motor. Percebe-se que o grau de incerteza se demonstrou com uma variação de valores entre -1 e +1, e isso foi de extrema importância para a determinação do *setpoint*¹¹ do servo motor, para as diversas possibilidades de obstáculos com relação a frente do robô. O mesmo estudo foi realizado para a determinação do posicionamento lateral do robô em relação ao corredor de 80cm de largura.

Destaca-se no texto abaixo a apresentação de um trecho de programação realizado em Linguagem C/C++, que foi dividido em três blocos principais: Lógica Paraconsistente Frontal, Lógica Paraconsistente Lateral e Controle do Servo Motor. Nos dois primeiros blocos, as variáveis percebidas pelos sensores são observadas no texto, passando pelo processo de normalização e participando do cálculo do grau de incerteza. Em seguida vem o controle de *setpoint* do servo motor (Figura 4).

Figura 4 - Código de *setpoint* do servo motor

```
//LÓGICA PARACONSISTENTE SENSORES FRONTAIS//
MI1 = (SR_LF/40); //Conversão da leitura do sensor frontal esquerdo em variável MI1
LA1 = (1-(SR_RF*0.025)); //Conversão da leitura do sensor frontal direito na variável LA1
GRA_UNC1 = ((MI1+LA1)-1); //Cálculo do grau de incerteza dos sensores frontais
SV_SET_PT = 540*GRA_UNC+551.5; //Determinação do setpoint do servo motor
SV_SET_PT = 400*GRA_UNC1+511.5;

//LÓGICA PARACONSISTENTE SENSORES LATERAIS//
MI2 = (SR_LL/80); //Conversão da leitura do sensor lateral esquerdo na variável MI1
LA2 = (1-(SR_RL*0.0125)); //Conversão de leitura de sensor lateral direito na variável LA1
GRA_UNC2 = ((MI2+LA2)-1); //Cálculo do grau de incerteza dos sensores laterais
SV_SET_PT = 530*GRA_UNC+551.5; //Determinação do setpoint do servo motor
SV_SET_PT = 200*GRA_UNC2+511.5;

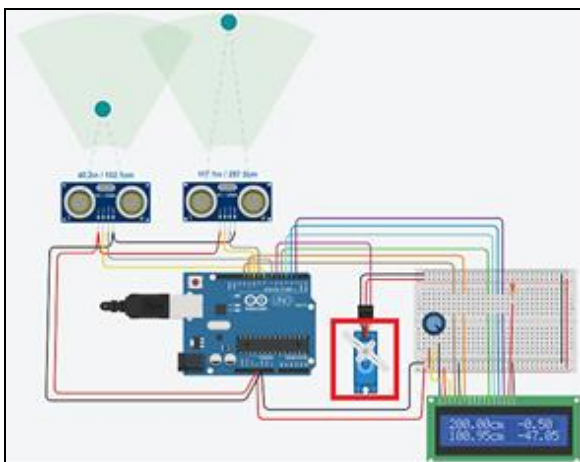
//CONTROLE DO SERVO MOTOR//
VALOR_MOTOR = map(SV_SET_PT, 0 , 1023 , 0 , 180); //Controle do servo motor
servo.write (VALOR_MOTOR);
ANG_SV = GRA_INC1*90; //Cálculo do ângulo do servo motor
```

Fonte: Elaborado pelos autores.

¹¹ Ponto de Ajuste

Para verificar o desempenho do robô, foram realizados testes de desempenho operacional em um *software*¹² de simulação da parte eletrônica. Observando o *display* LCD, o valor lido pelo sensor frontal direito pode ser visto na primeira linha e na mesma linha o valor do grau de incerteza também é verificado. Na segunda linha do *display* verifica-se o valor do sensor frontal esquerdo e o valor em grau apontado pelo servo motor. A Figura 5 mostra um obstáculo eminente no lado esquerdo do robô, e o servo motor destacado no retângulo vermelho apontou um valor aproximado de -47° através do valor do grau de incerteza de $-0,5$.

Figura 5 – Simulação 1 de obstáculos à frente do robô

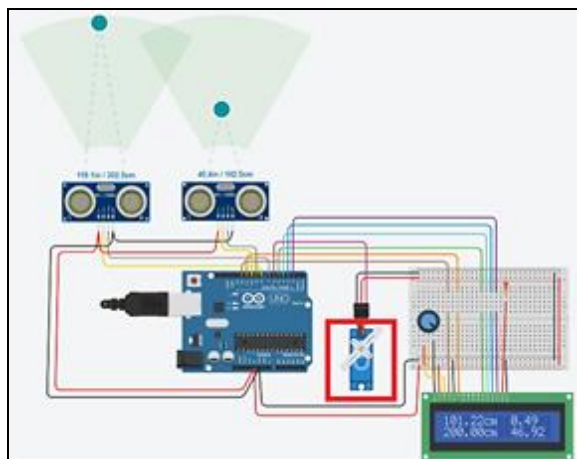


Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 6 mostra um obstáculo eminente no lado direito do robô, e o servo motor destacado no retângulo vermelho, apontou um valor aproximado de $+47^{\circ}$ através do valor do grau de incerteza de $+0,49$.

Figura 6 - Simulação 2 de obstáculos à frente do robô

¹² Programa de Computador



Fonte: Elaborado pelos autores.

Depois da verificação no *software*, realizaram-se testes para analisar o desempenho do robô em uma planta simétrica com escala reduzida. Verificou-se um desempenho satisfatório, ou seja, sem colisões ou travamentos durante o trajeto do robô móvel terrestre, quando ele desenvolvia uma velocidade máxima de 0,5m/s.

Discussão

Os autores BONA et al. (2014) utilizaram protótipos *Pioneer 3DX*, que são robôs diferenciais, ou seja, são posicionados de acordo com a diferença de rotação das rodas de tração. Tais modelos são sujeitos a imprecisões, sendo assim, o modelo de protótipo proposto neste artigo poderia contribuir para melhoria da precisão da trajetória dos robôs. Já um dos modelos de protótipo proposto pelos autores MEHAMI, NAWI & ZHONG (2018) apresentou problemas no deslocamento em linha reta. A utilização do protótipo aqui construído também pode contribuir com a melhoria do desempenho. Além disso, ambos os protótipos utilizam sensores ultrassônicos para percepção de obstáculos, e o algoritmo paraconsistente com dois sensores frontais pode proporcionar maior confiabilidade para se evitar colisões com obstáculos.

Conclusão

Historicamente as pesquisas realizadas revelaram inúmeros trabalhos com aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et no controle de direção desses robôs. Esse artigo iniciou-se com a proposta de análise sobre o uso da Lógica

Paraconsistente para controle de um robô móvel autônomo terrestre, com base nos antecessores. O diferencial desse trabalho se destaca na utilização de sensores frontais e laterais, assim como, um servo motor de direção do robô, com o intuito de melhorar a precisão dos movimentos. O algoritmo desenvolvido mostrou a possibilidade de implementação para atuação do protótipo em centros de logística, armazéns, entre outros, desde que a disposição da planta apresente uma característica de corredores simétricos.

Agradecimentos

"Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) -Código financeiro 001".

Referências bibliográficas

- ABE, J. M.; TORRES, C. R.; LAMBERT-TORRES, G.; SILVA FILHO, J. I.; MARTINS, H. G. Paraconsistent autonomous mobile robot Emmy III. In *Advances in Technological Applications of Logical and Intelligent Systems*, pp. 236-258. IOS Press, 2009.
- ABE, J. M.; SILVA FILHO, J. I.; CELESTINO, U.; ARAÚJO, H. C. Lógica Paraconsistente Anotada Evidencial Et. *Comunicar*, 2011.
- ABE, J. M. (Ed.). Paraconsistent intelligent-based systems: New trends in the applications of paraconsistency, Vol. 94, Springer, 2015.
- BONA, B.; CARLONE, L.; INDRI, M.; ROSA, S. Supervision and monitoring of logistic spaces by a cooperative robot team: methodologies, problems, and solutions. *Intelligent Service Robotics*, 7(4), 185-202, 2014.
- DA SILVA FILHO, J. I.; ABE, J. M.; TORRES, C. R.; CÉSAR, A. M.; MÁRIO, M. C.; SANTOS, A. M.; SALLES, D. M. Emmy: Robô móvel autônomo paraconsistente-protótipo 1. *Coleção Documentos, Série Lógica e Teoria da Ciência, IEA-USP*, 1999.
- FARINELLI, A.; ZANOTTO, E.; PAGELLO, E. Advanced approaches for multi-robot coordination in logistic scenarios. *Robotics and Autonomous Systems*, 90, 34-44, 2017.
- TORRES, C. R.; ABE, J. M.; TORRES, G. L. Sistema inteligente paraconsistente para controle de robôs móveis autônomos. *Portuguese, MSc Dissertation, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá*, 2004.

MEHAMI, J.; NAWI, M.; ZHONG, R. Y. Smart automated guided vehicles for manufacturing in the context of Industry 4.0. *Procedia manufacturing*, 26, 1077-1086, 2018.

TJAHJONO, B.; ESPLUGUES, C.; ARES, E.; PELAEZ, G. What does industry 4.0 mean to supply chain? *Procedia manufacturing*, 13, 1175-1182, 2017.

“O conteúdo expresso no trabalho é de inteira responsabilidade do(s) autor(es)”