

## CAPÍTULO 2

# CONTROLE FUZZY PARA NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA DE ROBÔS AGRÍCOLAS NA AGRICULTURA 5.0

*Data de aceite: 22/12/2023*

### **Márcio Mendonça**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná  
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Mecânica PP/CP  
Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

### **Kazuyochi Ota Junior**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná  
Mestre - PPGEM-CP - Programa de Pós-  
Graduação Multicampi em Engenharia  
Mecânica  
Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

### **Andressa Haiduk**

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

### **Marcos Antônio de Matos Laia**

Universidade Federal de São Joao Del Rei  
Departamento De Ciência Da Computação  
– UFSJ  
São Joao Del Rei - PR  
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

### **Fabio Rodrigo Milanez**

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

### **Vicente de Lima Gongora**

Faculdade da Industria Senai  
Londrina – PR  
<http://lattes.cnpq.br/6784595388183195>

### **Renato Kazuo Miyamoto**

Faculdade da Industria Senai  
Londrina – PR  
<http://lattes.cnpq.br/4663576103826232>

### **Adriana Giseli Leite Carvalho**

Faculdade da Industria Senai  
Londrina – PR  
<http://lattes.cnpq.br/2967212265737410>

### **Edinei Aparecido Furquim dos Santos**

Governo do Paraná Secretaria de estado  
da Fazenda  
Maringá – PR  
<http://lattes.cnpq.br/8706436030621473>

### **Ricardo Breganon**

Instituto Federal do Paraná, Campus  
Jacarezinho  
Jacarezinho – Pr  
<http://lattes.cnpq.br/2441043775335349>

### **Augusto Alberto Foggiate**

Departamento de Odontologia – UENP  
Jacarezinho – Pr  
<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

**Gustavo Henrique Bazan**

Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho  
Jacarezinho – Pr  
<http://lattes.cnpq.br/7076940949764767>

**Rodrigo Rodrigues Sumar**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio – Pr  
<http://lattes.cnpq.br/1461760661483683>

**André Luiz Salvat Moscato**

Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho  
Jacarezinho - Pr  
<http://lattes.cnpq.br/1744149363927228>

**José Antônio Gonçalves**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico de Computação (DACOM)  
Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/2462076923342107>

**Marta Rúbia Pereira dos Santos**

Centro Paula Souza  
Etec Jacinto Ferreira de Sá  
Ourinhos - SP  
<http://lattes.cnpq.br/3003910168580444>

**Mateus Henrique De Oliveira Louro**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Graduando Bolsista - Departamento Acadêmico  
de Engenharia Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio – Pr  
<http://lattes.cnpq.br/8431748067658674>

**RESUMO:** This work aims to highlight the advantages of using fuzzy logic in Agriculture 5.0, especially in the application of fuzzy control for autonomous navigation of agricultural robots. The incorporation of new technologies in agriculture, such as autonomous robotics, is transforming food production methods. Fuzzy control, a decision-making system based on fuzzy logic, is particularly valuable in uncertain and changing agricultural environments. In Agriculture 5.0, autonomous robots play a crucial role in improving productivity and efficiency. Fuzzy control can significantly assist in the navigation of these robots, allowing them to adapt to variable conditions such as weather changes or terrain and to be robust in the face of uncertainties such as unexpected obstacles or variations in plant positions. This results in safe and efficient navigation in different agricultural environments. In summary, fuzzy control provides essential advantages for the autonomous navigation of agricultural robots, including

adaptability and robustness. This work concludes with a summary of findings and suggests possible directions for future research in the field.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura 5.0; Lógica Fuzzy; Robótica Autônoma; Controle Inteligente.

## FUZZY CONTROL FOR AUTONOMOUS NAVIGATION OF AGRICULTURAL ROBOTS IN AGRICULTURE 5.0

**ABSTRACT:** The objective and motivation of this work are to present the advantages of using fuzzy logic in Agriculture 5.0, with some instantiations. Fuzzy control for autonomous navigation of agricultural robots. The employment and incorporation of new technologies in agriculture are transforming the way we produce food. One of the most promising technologies is autonomous robotics, which can automate tasks such as planting, harvesting, and weeding. Fuzzy control is a type of control system that uses fuzzy logic to make decisions. It is often used in applications where the environment is uncertain or changeable, such as in agriculture. In Agriculture 5.0, autonomous robots are becoming increasingly important for improving productivity and efficiency. Fuzzy control can play a fundamental role in the navigation of these robots, helping them navigate safely and efficiently in a variety of environments. The main benefits of fuzzy control for autonomous navigation of agricultural robots include: Adaptability: Fuzzy logic can be used to adapt to changing conditions, such as weather or terrain. This can help the robot navigate safely and efficiently in a variety of environments. Robustness: Fuzzy logic is robust to uncertainties, such as the location of obstacles or the position of plants. This can help the robot avoid collisions and successfully complete its tasks. This work concludes with a conclusion and addresses future research.

**KEYWORDS:** Agriculture 5.0, Fuzzy Logic, Autonomous Robotics, Intelligent Control.

## 1 | INTRODUÇÃO

A priori, esta pesquisa abordará o campo da robótica, com foco especial na autonomia robótica, uma vez que esta se apresenta como um dos pilares fundamentais da indústria 4.0 e, conseqüentemente, da Agricultura 5.0. Vale destacar que a Agricultura 5.0, também conhecida como agricultura de precisão, herda grande parte dos sistemas inteligentes de seu predecessor. No entanto, é importante ressaltar que o escopo desta pesquisa se concentra na robótica autônoma, direta ou indiretamente, e sua relevância nos pilares da indústria 4.0.

A robótica autônoma desempenha um papel de importância direta e indireta em diversos aspectos da indústria 4.0, incluindo a simulação de processos. Além disso, na Agricultura 5.0, contribui significativamente para a produtividade, através do uso de tecnologias avançadas que visam aumentar a eficiência da produção agrícola, bem como para a sustentabilidade, ao empregar tecnologias que reduzem o consumo de água, fertilizantes e pesticidas, exemplificadas pelo uso de drones, entre outras.”

A robótica, como campo multidisciplinar, emprega uma combinação intrincada de técnicas que abrangem controle, inteligência artificial, mecânica e eletrônica, sendo

desejável que suas ações de controle se aproximem do tempo real (MENDONÇA et al., 2019; SICILIANO E KHATIB, 2016).

Nos últimos anos, a pesquisa em problemas relacionados à tomada de decisão tem florescido devido ao impacto significativo que essa área exerce na resolução de desafios do mundo real (SICILIANO E KHATIB, 2016).

Definir a tomada de decisão de forma informal revela-se como a habilidade de determinar e escolher as ações apropriadas para a resolução de um problema específico. A decisão pressupõe a existência de alternativas a serem ponderadas, onde o conhecimento especializado e as observações dinâmicas dos sistemas podem ser aplicados para aprimorar tais escolhas (NÁPOLES et al., 2020).

O termo autonomia transcende a mera capacidade de ação e decisão em sistemas de controle artificial; ele abarca também a adaptabilidade do mecanismo de tomada de decisão (MATARIC, 2007; SICILIANO E KHATIB, 2016).

Por outro lado, os Sistemas Autônomos apresentam a notável capacidade de executar tarefas complexas com elevado grau de sucesso, prescindindo de intervenção humana (SHARMA, 2021).

Observa-se um interesse em ascensão no desenvolvimento de robôs e veículos autônomos (agentes), principalmente devido à vasta gama de tarefas que podem desempenhar, destacando-se aquelas que envolvem riscos para a saúde humana e/ou o meio ambiente (MAKI et al., 2010).

Como exemplificação desse avanço, mencionam-se projetos que descrevem robôs móveis autônomos utilizados em soldagem (SCHROTH, et al., 2009), exploração de ambientes (SALAN et al., 2015), operações subaquáticas (Spears et al., 2014), e outros casos citados por Bishop (2000). Esses exemplos ilustram a ampla aplicabilidade e potencial transformador da robótica em diversas esferas da vida moderna.

A área da robótica móvel autônoma, ou agentes móveis autônomos, enfrenta um desafio fundamental: a necessidade de desenvolver estratégias de navegação por meio da interação com o ambiente em que atuam.

De maneira geral, o campo da navegação é vasto e diversificado, repleto de situações que exigem tomadas de decisão e ações de controle. Além disso, o ambiente em que esses agentes operam pode passar por mudanças inesperadas. Nesse contexto, a dificuldade de criar controladores eficientes para esses agentes móveis (robôs) reside na complexa interação entre dois sistemas dinâmicos: o próprio robô e o ambiente ao seu redor. Mesmo em cenários aparentemente estáticos, como é o caso deste estudo, do ponto de vista do robô, o ambiente é dinâmico e desafiador.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. No capítulo 2 uma amostra das aplicações de robôs na agricultura, um número que já é grande, é aumenta a cada dia. Na seção 3 um formalismo sobre o modelo de fuzzy utilizado, os *Fuzzy Cognitive Maps* do inglês, por vantagens como baixo peso computacional. A seção 4 apresenta aspectos do

desenvolvimento em estado, inicial, entretanto promissor. E, finalmente a seção 5 conclui e sugere futuro trabalho.

## 2 | FUZZY COGNITIVE MAPS

Os mapas cognitivos difusos (FCMs) são uma ferramenta de modelagem baseada em conhecimento que pode ser usada para representar e analisar sistemas complexos. FCMs são compostos de um conjunto de conceitos, que representam variáveis ou entidades no sistema, e um conjunto de relações, que representam as interações entre os conceitos (ZHOU, X., LIU, B. 2011).

A origem dos FCM é apresentada por Kosko (1986) como uma base de conhecimentos metodológicas para modelagem e simulação de sistemas dinâmicos. Eles surgiram a partir de mapas cognitivos que foram inicialmente propostos por Axelrod (1976) para representar palavras, ideias, tarefas ou outros itens ligados a um conceito central e dispostos radialmente em volta deste conceito.

Os FCMs possuem aplicações em diferentes áreas de conhecimento, como:

- Engenharia: controle de processos, planejamento de produção, design de produtos e serviços
- Medicina: diagnóstico, prognóstico, tratamento
- Ciências sociais: economia, política, psicologia
- Ciências naturais: meteorologia, oceanografia, climatologia
- Nessa investigação científica, na agricultura, entre outras.

Estruturalmente, um FCM pode ser representado por dígrafos diretos Fuzzy com realimentação, vistos como uma coleção de unidades processadoras neurais e relacionadas por pesos. Desse modo, um sistema pode ser modelado convenientemente em termos de conceitos e as relações de casualidade entre eles (SMITH, MENCZER, 2007).

Estruturalmente, um FCM pode ser representado por dígrafos diretos Fuzzy com realimentação, vistos como uma coleção de unidades processadoras neurais e relacionadas por pesos. Desse modo, um sistema pode ser modelado convenientemente em termos de conceitos e as relações de casualidade entre eles (NAPOLES et al., 2017). Outra possível vantagem do FCM, está na sua complexidade computacional que foi investigada no trabalho de SOUZA, L. B. de et al. (2017).

A estrutura dos Mapas Cognitivos Fuzzy (FCM) é inicialmente construída com base no conhecimento prévio de especialistas, podendo ser ajustada posteriormente por meio de métodos heurísticos, algoritmos genéticos, enxames e outras técnicas. No entanto, os modelos de inferência baseados em FCM geralmente carecem de robustez na presença de modificações dinâmicas não previamente modeladas, devido à sua representação rígida do conhecimento por meio de operações gráficas e matriciais (ACAMPORA E LOIA, 2011).

Para enfrentar esse problema, este artigo propõe um novo tipo de FCM no qual a estrutura pode se adaptar dinamicamente de acordo com os objetivos atuais do modelo, como alcançar um alvo e evitar obstáculos em um sistema de navegação baseado em FCM. Essa abordagem permite que o Mapa Cognitivo Fuzzy Híbrido-Dinâmico (HDFCM) adquira e utilize o conhecimento heurístico de forma dinâmica. O HDFCM e sua aplicação na navegação autônoma serão desenvolvidos e validados nas próximas seções.

Existem trabalhos relacionados na literatura que utilizam mapas cognitivos na pesquisa em robótica móvel. Por exemplo, Min et al. (2006) utilizam o FCM probabilístico na tomada de decisão de um time de futebol de robôs, relacionando as ações com o comportamento da equipe, como chutar a bola na presença de adversários. O FCM probabilístico incorpora uma função de verossimilhança para atualizar os conceitos do mapa. Outro exemplo é o trabalho de Pipe (1998), que utiliza Campo Potencial e Mapas Cognitivos para guiar um robô autônomo.

Além disso, na literatura, encontramos diversas variações dos Mapas Cognitivos Fuzzy que abordam a rigidez na representação do conhecimento, como o Extended-Fuzzy Cognitive Maps (E-FCM) (Hagiwara, 1992), Rule Based Fuzzy Cognitive Maps (RB-FCM) (Carvalho and Tome, 2000), Dynamic Cognitive Network (DCN) (Kostiadis et al., 2000), Mapas Cognitivos Fuzzy com Granularidade Temporal (Acampora and Loia, 2011), Mapas Cognitivos Dinâmicos-Fuzzy (Mendonça et al., 2019) e (Ahmed and Hesham, 2010), Redes Cognitivas Rough (Nápoles et al., 2020) e outras. Um levantamento recente com várias variações do FCM clássico nos últimos anos, que sugere baixa complexidade computacional, é apresentado por Papageorgiou and Salmeron (2013).

### 3 | APLICAÇÕES DE ROBÓTICA AUTÔNOMA NA AGRICULTURA

Artificial oferece inúmeras oportunidades de aplicação em diversas áreas, e à medida que a tecnologia continua a se desenvolver, suas aplicações na robótica estão se tornando cada vez mais proeminentes. Neste contexto, apresentaremos exemplos de aplicações tanto no ambiente virtual, por meio da automação de processos robóticos, conhecida como *Robotic Process Automation (RPA)*, quanto no mundo real, envolvendo robôs físicos.

Começando com alguns exemplos de robôs virtuais, podemos observar sua utilização em aplicações militares, onde desempenham papéis cruciais na criação de protótipos e auxiliam em diversas áreas, tais como cartografia, comunicações, assessoramento em campos de batalha e assistência a pessoas. Além disso, destacam-se suas contribuições na A Inteligência Agricultura 5.0, que é uma evolução da agricultura de precisão, utilizando tecnologias avançadas para otimizar processos agrícolas e alcançar níveis superiores de eficiência e sustentabilidade (SILVA, ALMEIDA, SANTOS, 2023).

O desenvolvimento de veículos autônomos com inteligência artificial é uma tendência forte no setor, devido a sua capacidade de identificar falhas e ameaças a partir de padrões

analisados. Um veículo terrestre não-tripulado também é capaz de dosar com precisão a quantidade de defensivo em uma lavoura, sem nenhuma interferência humana direta. Orientados por GPS e outros sensores, esses equipamentos reduziram a carga de trabalho nas etapas do cultivo, do plantio à colheita, além de aumentar a precisão e regularidade dos resultados obtidos.



Figura 1. BoniRob em uma plantação

O uso de defensivos agrícolas é uma das maiores problemáticas para o setor agrícola, devido a isso, a busca pelo uso de boas práticas na agricultura sustentável desenvolvendo soluções alternativas vem sendo explorada por grandes empresas. Neste contexto em 2019 uma equipe de especialistas em robótica da Bosch criou um robô agrícola autônomo *BoniRob* (BIBER et al., 2012), apresentado na Figura 6, que pode realizar de forma autônoma tarefas repetitivas de fenotipagem para plantas individuais em dias diferentes e controle mecânico de ervas daninhas.

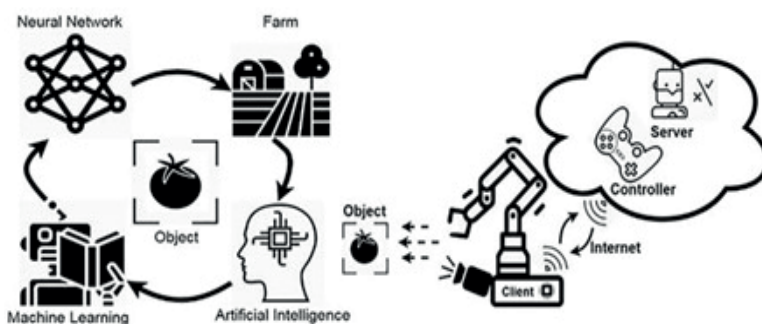


Figura 2. Mecanismo para sistema de colheita de safra.

O robô é capaz de decidir quais plantas são mais aptas a sobreviver a insetos e vírus e quanto de fertilizante eles precisariam, e então esmagar qualquer erva daninha com

um atuador pneumático.

Além dos exemplos apresentados, as decisões agrícolas requerem vasta experiência na tomada de decisões. Sistemas de colheitas utilizando reconhecimento por imagem podem ser utilizados para determinar a maturidade da safra e realizar a coleta através de um braço robótico (HORNG et al., 2020), como pode ser observado na Figura 2

O uso de drones na agricultura é uma prática que vem ganhando cada vez mais espaço nos últimos anos. Essas aeronaves não tripuladas podem ser utilizadas para uma variedade de aplicações, como a pulverização de defensivos agrícolas, a detecção de pragas e doenças, e o monitoramento de lavouras.

Em uma entrevista recente com prestadores de serviços da área, alguns cuidados importantes foram destacados. Um deles é o tempo de voo dos drones, que geralmente é limitado a 20 a 25 minutos. Isso significa que, para uma área extensa, é necessário o uso de vários drones para que a operação seja realizada de forma eficiente Oliveira e Souza, (2023).

Outro cuidado importante é o uso dos drones em condições climáticas adversas, como ventos fortes. Em um caso relatado, o vento levou um pesticida aplicado por um drone para uma lavoura vizinha, causando prejuízos.



Figura 3 – Exemplo de Drone MATRIVE 100

Outro recurso recorrente, porém, mais preciso e com pelo menos 10% de perdas, segundo fabricante. Mesmo que seja um pulverizador autônomo, o Arbus 4000 Jav, esmaga pequenas poções da colheita durante sua trajetória. O robô móvel é mostrado na figura 4.





Figura 4 – ARBUS 4000 Jav - Jacto

A estratégia de robô é bastante interessante e inspirou um protótipo, que ainda se encontra em fase inicial. A saber, esse robô trabalha em comboio, e se comunicam entre eles. Algo interessante e baseado na IoT, internet das coisas. Levou aproximadamente 1 ano e meio para maturação do projeto. O mais interessante que usa o conceito de robótica colaborativa, na qual um ser humano trabalha em parceria com robô. Esse evento é disparado quando uma situação drástica ocorre, como por exemplo, um buraco inesperado, devido a área rural ser bastante complicada para navegação, um ser humano assume o mesmo e o deixa teleguiado até sair da situação drástica o robô volte a ser autônomo.

### 3.1 Protótipo um robô autônomo para aplicação agrícola usando FCM.

A arquitetura de controle adotada neste trabalho é baseada na Arquitetura de Subsunção (MATARIC, 2007), que permite o desenvolvimento progressivo de sistemas de navegação, começando com um modelo simples com uma ou poucas funcionalidades e gradualmente adicionando novos objetivos para melhorar a capacidade de exploração do agente.

No entanto, o agente (robô móvel) precisa navegar em um ambiente semidesconhecido, tendo apenas informações prévias sobre a posição do alvo no ambiente. Resumindo, apenas as posições do alvo e do ponto de partida do agente são conhecidas. O robô pode executar ações de navegação convencionais, como avançar, virar à direita e/ou virar à esquerda. Ele deve ser capaz de se adaptar às mudanças ambientais com base na intensidade das medições do sensor, utilizando algum algoritmo de aprendizado. A Figura 5 ilustra o robô e o alvo em um ambiente (cenário), bem como a pose (ângulo e

posições x; y) do robô no cenário, juntamente com as distâncias latitudinais e longitudinais entre o robô e o alvo.

#### 4 I RESULTADOS DA NAVEGAÇÃO HD-FCM

Foram desenvolvidos dois FCMs, para a navegação autônoma, como ilustrado nas Figuras 5a e 5b, para executar duas tarefas essenciais do robô: atingir os alvos e evitar obstáculos. É importante observar que ambos os FCMs compartilham os mesmos conceitos de saída, representados por LW (roda esquerda) e RW (roda direita), que indicam o número de pulsos a serem aplicados às rodas esquerda e direita do robô. Entretanto, os conceitos de entrada desses FCMs são distintos.

Na Figura 5a, DSx representa a distância lateral entre o robô e o alvo (correspondendo a  $\Delta X$  na Figura 5b), enquanto DSy denota a distância frontal em relação ao alvo (correspondente a  $\Delta Y$ , medida no eixo vertical). Se o alvo estiver posicionado à esquerda do robô, DSx é negativo; caso esteja localizado na parte traseira do robô, DSy é negativo. Todos os pesos (W1 - 3 a W2 - 4) são valores fuzzy que foram normalizados para se encontrarem dentro do intervalo [-1, 1].

A Figura 5b apresenta o robô (agente) no contexto do modelo HD-FCM para desvio de obstáculos. Neste caso, os conceitos de entrada são SL (sensor esquerdo), SR (sensor direito) e SF (sensor frontal). Os valores desses conceitos correspondem às leituras dos sensores correspondentes e indicam a distância entre o móvel e os obstáculos. Esses valores, representados como números fuzzy, foram normalizados no intervalo [0, 1].

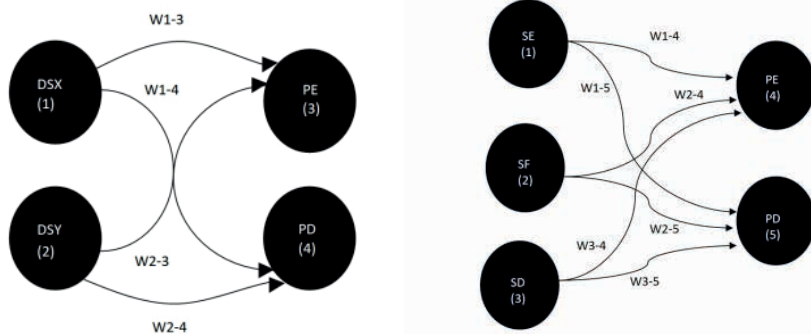


Figura 5a,5b – FCMs para desvio de obstáculos, encontro do alvo

Os testes com o sistema controlado por operador já foi implementado e já apresenta resultados, mesmos que iniciais promissores. Desse modo a estratégia inspirada no robô da Jacto, já sugeri ser plausível. Além disso a combinação dos dois FCMs com uma máquina de estados que desvia e tenta alcançar alvos, passando a ser teleguiado em situações drásticas já está alcançando alvos. Decidiu-se ainda não incluir a mesma no

trabalho, porque ainda está em fase inicial e só deverá ter uma mais próxima da realidade, após os experimentos.

## 5 | CONCLUSÃO

O protótipo desenvolvido com base no ARBUS 4000 Jav - Jacto, inspirado pelo uso do HD-FCM e controle teleguiado, apresenta resultados promissores. O uso do HD-FCM, com sua capacidade de adaptação dinâmica de conhecimento heurístico, permite que o robô atinja com sucesso seus objetivos, como alcançar alvos e evitar obstáculos, de forma eficiente e flexível.

A combinação do HD-FCM com o controle teleguiado proporciona um sistema robusto e versátil, capaz de lidar com modificações dinâmicas no ambiente que não foram previamente modeladas. Isso é essencial para a navegação autônoma em cenários complexos e em constante mudança.

Os resultados obtidos até o momento indicam que o protótipo é uma abordagem promissora para a robótica móvel, demonstrando a viabilidade da utilização de técnicas avançadas de controle e inferência baseadas em FCM. Com essa combinação, o robô é capaz de enfrentar desafios de navegação de forma eficaz, abrindo portas para aplicações futuras em diversos campos, como logística, agricultura, foco dessa investigação, e exploração de ambientes desconhecidos. Futuros trabalhos endereçam a validação do protótipo em desenvolvimento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores, em especial Mateus Henrique De Oliveira Louro agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Paraná pelo apoio fornecido ao longo deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ACAMPORA, G., & LOIA, V. (2011). *Fuzzy cognitive maps: Advances in theory, methodologies, tools, and applications* (Vol. 56). Springer Science & Business Media.

AHMED, A., & HESHAM, H. M. (2010). *A new approach to dynamic fuzzy cognitive maps. In 2010 10th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications* (pp. 1196-1200). IEEE.

AXELROD, R. *Structure of decisions: the cognitive maps of political elites*. 1. ed. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 1976.

CARVALHO, J. M., & TOME, A. M. (2000). *Rule based fuzzy cognitive maps. International Journal of Approximate Reasoning*, 24(2-3), 131-145.

KOSTIADIS, K., GROUMPOS, P. P., & GROUMPOS, P. P. (2000). **Dynamic cognitive networks: Optimal online learning and decision making in fuzzy cognitive maps**. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 30(2), 296-310.

KOSKO, B. **Fuzzy cognitive maps**. International Journal of Man-Machine Studies, v. 24, n. 1, p. 65–75, 1986.

MIN, J., JOO, S. Y., & KIM, H. J. (2006). **Probabilistic fuzzy cognitive map for the soccer robot team**. In Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (pp. 2522-2527). IEEE.]

MATARIC, M. J. (2007). **Front Matter**, pp. i{xvii.

MENDONÇA, R., MOREIRA, A. P., SANTOS, L., LIMA, P., & RODRIGUES, P. (2019). **Dynamic fuzzy cognitive maps for decision support in smart grids**. *Energies*, 12(8), 1482.

MENDONÇA, M., KONDO, H. S., BOTONI, L. S., PALACIOS, R. H. C. AND SILVA, J. P. A. (2019). **Semi-unknown environments exploration inspired by swarm robotics using fuzzy cognitive maps**, 2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), pp. 1,8.

NAPOLIS, G. *et al.* **Fuzzy Cognitive Maps Tool for Scenario Analysis and Pattern Classification**. 2017 IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI). Boston, MA, USA: IEEE, 2017Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8372006/>>

OLIVEIRA, D. S., & SOUZA, J. M. (2023). Uso de drones na agricultura: aplicações e desafios. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 27(1), 1-8.

HAGIWARA, M. (1992). **Extending fuzzy cognitive maps with logical rules**. International Journal of Man-Machine Studies, 37(3), 353-371.

PAPAGEORGIOU, E. I., & SALMERON, J. L. (2013). **Fuzzy cognitive maps: A review of methods used in model development**. Expert Systems with Applications, 40(2), 543-553.

SHARMA, R. (2021). **Artificial intelligence in agriculture: A review**, 2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), pp. 937,942

SILVA, JOÃO; ALMEIDA, MARIA; SANTOS, PEDRO. **Agricultura 5.0: A nova revolução agrícola**. Revista Brasileira de Tecnologia e Inovação, 2023.

SICILIANO, B. AND KHATIB, O. (2016). **Robotics**

**and the Handbook**, Springer International Publishing.

SOUZA, L. B. de et al. **Dynamic Fuzzy Cognitive Maps Embedded and Classical Fuzzy Controllers Applied in Industrial Process**. ICAS 2017: The Thirteenth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems. Barcelona, Spain: IARIA, 2017

SMITH, J. Q., & MENCZER, F. (2007). Fuzzy cognitive maps: **A survey**. In **Proceedings of the 2007 ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining** (pp. 1197-1206). ACM.

ZHOU, X., & LIU, B. (2011). Fuzzy cognitive maps: **A survey of applications**. *International Journal of Intelligent Systems*, 26(10), 1076-1106.