# MANNA SWARM ROBOTS: UMA ABORDAGEM ACESSÍVEL PARA CONTROLE DE ROBÔS EM ENXAME UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL

Haniel Henrique Paixão Martins Rosa (Manna/FA/CNPq), Rodrigo Calvo (Coorientador), Linnyer Beatrys Ruiz Aylon (Orientadora). E-mail: lbruiz@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

**Área e subárea do conhecimento: Outras/Robótica, Mecatrônica e Automação.**

**Palavras-chave:** Internet das Coisas Robóticas, Robótica Bio-inspirada, Visão computacional.

## RESUMO

Inserido no Ecossistema Manna, este trabalho apresenta o desenvolvimento do Manna Swarm Robots, uma plataforma de controle centralizado para múltiplos robôs móveis. Fundamentada em conceitos de sistemas bio-inspirados para a coordenação de múltiplos robôs móveis, a robótica em enxame (swarm robotics) permite que comportamentos complexos emerjam de regras simples, embora a complexidade e o alto custo das soluções tradicionais de localização ainda restrinjam sua adoção no ambiente acadêmico. O sistema desenvolvido utiliza uma webcam zenital fixada a cerca de dois metros de altura e marcadores fiduciais ArUco para identificar, em tempo real, a posição e a orientação de três Manna bots, além de âncoras fixas de calibração e um obstáculo móvel. O algoritmo de controle centralizado em Python (OpenCV) combina vetores de atração ao alvo com forças de repulsão das paredes, do obstáculo e dos demais robôs, permitindo formação em escolta, desvio dinâmico e prevenção de colisões via comunicação Wi-Fi UDP. Os resultados comprovam que a arquitetura de visão zenital, aliada a campos potenciais, coordena o enxame em tempo real com alta estabilidade e baixo tempo de resposta, validando a viabilidade de plataformas de custo otimizado para a pesquisa e o ensino prático.

## INTRODUÇÃO

O avanço da robótica móvel impulsiona a robótica em enxame (swarm robotics), permitindo que comportamentos complexos emerjam de regras de interação simples entre agentes, a exemplo de abordagens baseadas em otimização por colônia de formigas (CALVO; ROMERO, 2012; KARPOVA, 2025). Contudo, a complexidade de gerenciar múltiplos critérios no design desses sistemas (GARZÓN RAMOS et al., 2025) e os elevados custos de infraestruturas de localização convencionais frequentemente inviabilizam sua adoção em contextos acadêmicos. A democratização desse conhecimento exige o emprego de plataformas de recursos otimizados para o ensino prático, utilizando microcontroladores comerciais. Enquanto abordagens tradicionais exigem sensores embarcados de alto valor,

plataformas centralizadas com marcadores ArUco surgem como alternativas eficientes para navegação (NÄSLUND, 2025), reduzindo a carga de processamento embarcada e facilitando a depuração visual do comportamento coletivo (MILLARD et al., 2018). Diante desse cenário, este trabalho apresenta o Manna Swarm Robots, um sistema de controle centralizado que utiliza webcam e marcadores ArUco para coordenar múltiplos robôs móveis. O objetivo é demonstrar, na prática, uma plataforma tangível, replicável e eficiente, traduzindo conceitos abstratos em um protótipo funcional voltado à iniciação científica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do Manna Swarm Robots foi dividido em duas frentes integradas: a infraestrutura física (hardware) e o algoritmo de controle (software). No hardware, uma webcam foi fixada em um tripé a aproximadamente dois metros de altura, funcionando como sistema de localização centralizado e zenital da arena. Marcadores fiduciais ArUco (dicionário 4×4, 10 cm) foram atribuídos a papéis distintos: quatro âncoras fixas nos limites da arena, utilizadas para calibrar a escala de pixels por centímetro e gerar zonas de repulsão das bordas; um marcador móvel representando um obstáculo dinâmico; e um marcador exclusivo para cada um dos três Manna bots, identificados como R1 (líder), R2 e R3 (seguidores). Para garantir a viabilidade e reprodutibilidade do projeto, a estrutura de cada robô é baseada em um chassi fabricado por impressão 3D, com eletrônica embarcada composta por um microcontrolador ESP32 com conectividade Wi-Fi nativa, alimentado por duas baterias de 3,7 V, acionamento por dois motores DC controlados por sinais PWM e o marcador ArUco fixado na parte superior para identificação visual, conforme ilustrado de forma isolada na Figura 1. O ESP32 atua exclusivamente como receptor, recebendo os comandos de velocidade das rodas via protocolo UDP.

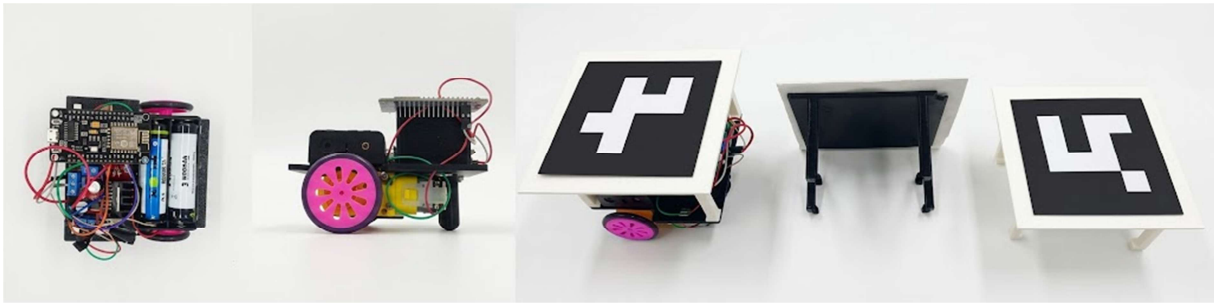


**Figura 1** – Visão geral do marcador ArUco e do Manna bot e seus componentes embarcados.

No software, desenvolvido em Python com as bibliotecas OpenCV e cv2.aruco, cada quadro do vídeo é processado para detectar os marcadores e calcular a posição central e a orientação angular de cada robô. A partir da posição do líder, o sistema calcula pontos de formação para os seguidores, posicionados atrás dele, compondo uma formação em escolta triangular. O algoritmo de navegação combina a atração ao alvo com forças de repulsão tangencial, evitando travamentos frontais. O erro

angular é convertido em velocidades diferenciais das rodas por um controle proporcional (Kp).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes práticos demonstram que o sistema de rastreamento zenital identificou simultaneamente os três Manna bots, as âncoras de calibração e o obstáculo móvel em tempo real, reprocessando a arena a cada ciclo visual. A combinação de vetores de atração e repulsão permitiu que o robô líder alcançasse alvos definidos dinamicamente por clique ou por rota desenhada na interface. Simultaneamente, os seguidores mantiveram a formação em escolta atrás dele, ajustando-se com agilidade aos seus deslocamentos, conforme ilustrado na Figura 2.

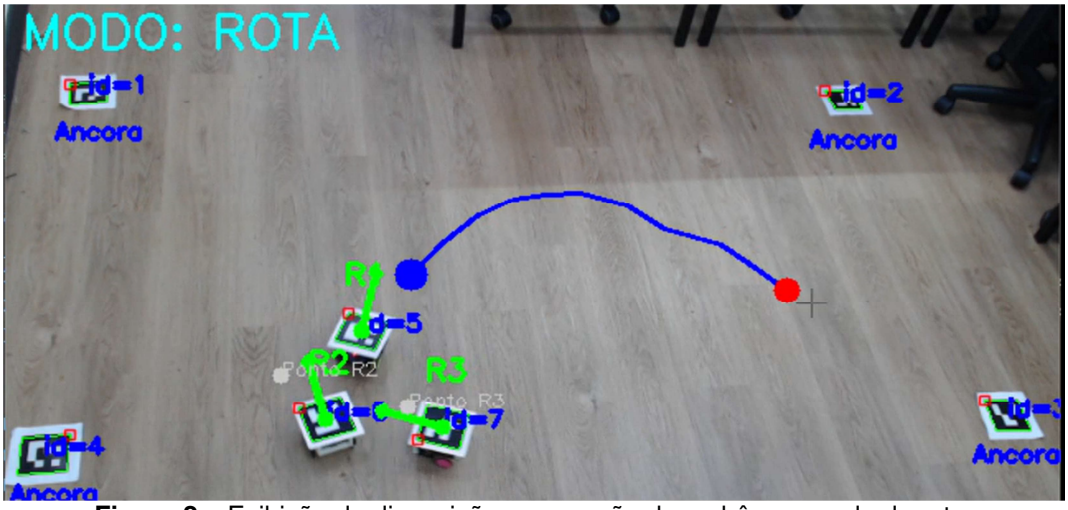



**Figura 2** – Exibição da disposição e operação dos robôs no modo de rota.

O componente tangencial, somado às forças de repulsão, mostrou-se uma estratégia eficaz para evitar que os robôs travem entre si ou colidam contra o obstáculo. Essa lógica forçou os agentes a contornarem lateralmente os pontos de conflito, garantindo a fluidez do movimento coletivo. O controle proporcional das rodas, com zonas de frenagem e de tolerância angular, resultou em uma navegação estável e responsiva, sem oscilações perceptíveis. Além disso, o sistema apresentou um baixo tempo estimado de resposta (entre 50 e 80 ms), permitindo reações rápidas e transições suaves durante as manobras do enxame. Apesar desses resultados positivos, o protótipo expôs limitações esperadas em arquiteturas de recursos otimizados: a dependência do campo de visão da câmera restringe a área útil da arena e apresenta sensibilidade a oclusões dos marcadores ou variações de luminosidade. Adicionalmente, a comunicação Wi-Fi sem confirmação de recebimento pode descartar comandos esporádicos. Contudo, essas restrições não comprometem o propósito primário do projeto. O foco do Manna Swarm Robots reside no desempenho lógico do controle coordenado e no seu imenso valor como ferramenta educacional.

## CONCLUSÕES

O experimento do Manna Swarm Robots comprovou-se bem-sucedido, demonstrando que o controle efetivo do enxame foi plenamente adquirido. Os resultados confirmam a viabilidade prática de uma arquitetura de baixo custo para a coordenação em tempo real, capaz de manter a estabilidade nas manobras e na formação dos robôs. Este trabalho consolida a plataforma como uma ferramenta acessível para ensino e pesquisa em robótica coletiva. Como perspectivas para trabalhos futuros, propõe-se a expansão do número de robôs no enxame, a implementação de confirmação de recebimento na comunicação Wi-Fi e testes em arenas de maiores dimensões.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Manna Team, à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Brasil, pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

CALVO, R.; ROMERO, R. A. F. **Sistemas bio-inspirados para coordenação de múltiplos robôs móveis**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

GARZÓN RAMOS, D. et al. Automatic Design of Robot Swarms under Concurrent Design Criteria: A Study Based on Iterated F-Race. **Advanced Intelligent Systems**, v. 7, n. 1, p. 2400332, 2025.

KARPOVA, Irina. Ant-inspired navigation algorithm based on visual landmarks. **Robotics and Autonomous Systems**, v. 193, p. 105082, 2025.

MILLARD, A. G. et al. ARDebug: an augmented reality tool for analysing and debugging swarm robotic systems. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 5, p. 87, 2018.

NÄSLUND, J. **A Centralized Autonomous Vehicle Platform for Indoor Navigation Using ArUco Markers**. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Umeå University, 2025.