

## Plataforma Internet das Coisas (IoT) para Monitoramento de Meliponicultura, Orientado por Redes Neurais

### Internet of Things (IoT) Platform for Meliponiculture Monitoring Guided by Neural Networks

Bruno Eduardo	{ bruno.pereira107@fatec.sp.gov.br }
Bruno Davies	{ bruno.olivera@fatec.sp.gov.br }
Leonardo Matheus	{ leonardo.ribeiro22@fatec.sp.gov.br }
Mauricio Rafael	{ mauricio.veiga01@fatec.sp.gov.br }
Renan da Silva	{ renan.ramos9@fatec.sp.gov.br }

#### RESUMO

Este estudo apresenta uma plataforma de Internet das Coisas (IoT) e Visão Computacional para o monitoramento automatizado de colméias de abelhas sem ferrão, focado na identificação precoce de forídeos, dípteros parasitas que ameaçam a saúde das colônias. Utilizando câmeras na entrada das colmeias e o modelo You Only Look Once (YOLO), a arquitetura de Computação em Nuvem implementa a classificação dos insetos em tempo real, emitindo alertas imediatos ao meliponicultor. Com a implementação do sistema espera-se que o sistema proposto alcance uma precisão de classificação de aproximadamente 85%, com o diferencial de operar em dispositivos de baixo custo e capacidade limitada. As limitações identificadas incluem o impacto de variações climáticas e condições de luminosidade no pré-processamento da imagem, além da diversidade de espécies, que exige a otimização da robustez do modelo de detecção para reduzir falsos positivos/negativos. Os próximos passos envolvem a otimização dos algoritmos e a expansão da base de dados para aumentar a robustez do sistema. Apesar dessas restrições, a plataforma é promissora para apoiar o manejo sustentável da meliponicultura, automatizando a detecção de parasitas e contribuindo para a preservação das colônias.

**PALAVRAS-CHAVE:** Visão computacional; IoT; Redes Neurais; Abelhas Nativas; Forídeos.

#### ABSTRACT

This study presents an Internet of Things (IoT) and Computer Vision platform for the automated monitoring of stingless beehives, focused on the early identification of phorid flies—dipteran parasites that threaten colony health. Using cameras positioned at the hive entrance and the You Only Look Once (YOLO) model, the Cloud Computing architecture performs real-time insect classification, generating immediate alerts for the beekeeper. The proposed system is expected to achieve a classification accuracy of approximately 85%, with the advantage of operating on low-cost and resource-limited devices. Identified limitations include the impact of climate variations and lighting conditions on image pre-processing, as well as species diversity, which requires model optimization to reduce false positives and negatives. Future work involves algorithm refinement and dataset expansion to improve system robustness. Despite these constraints, the platform shows promise in supporting sustainable stingless beekeeping by automating parasite detection and contributing to colony preservation.

**KEYWORDS:** Edge Computing; IoT; Neural Networks; Native Bees; Phoridae.

## INTRODUÇÃO

A meliponicultura, dedicada à criação e manejo de abelhas sem ferrão (Meliponini), tem ganhado destaque pela sua importância ecológica e econômica, sendo vital para a polinização de culturas agrícolas e para a produção de mel de alta qualidade. A relevância dessa atividade transcende a produção de mel: as abelhas nativas são responsáveis pela polinização de grande parte das plantas silvestres e pela reprodução de mais de 75% das culturas agrícolas mundiais, reforçando seu papel estratégico na segurança alimentar global (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2023). No Brasil, a valoração da polinização realizada por abelhas pode ultrapassar US\$ 12 bilhões anuais (Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável (SEDEST), 2023), evidenciando a

magnitude do impacto socioeconômico dessa atividade. Apesar de sua relevância, um dos principais desafios enfrentados na meliponicultura é o ataque de parasitas da família Phoridae, conhecidos como forídeos. Esses dípteros depositam suas larvas no interior das colmeias, comprometendo a saúde das abelhas e, em casos mais graves, ocasionando o colapso completo das colônias (Ministério da Agricultura, 2022). Considerados a principal praga que afeta a meliponicultura (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), 2023), os forídeos podem reduzir drasticamente a produtividade, impondo perdas econômicas e ecológicas. A detecção precoce desses parasitas é fundamental, mas os métodos tradicionais de monitoramento, por serem manuais, demorados e sujeitos a falhas, mostram-se inviáveis em sistemas que envolvem múltiplas colmeias. Diante desse cenário, torna-se imprescindível o desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras e sustentáveis, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 12 e 15), que visam tanto o uso responsável da tecnologia quanto a preservação da biodiversidade. Nesse contexto, o uso de tecnologias emergentes como a Internet das Coisas (IoT) e a Inteligência Artificial (IA) surge como uma alternativa promissora para automatizar a detecção de parasitas e apoiar a tomada de decisão dos produtores. O presente trabalho propõe o desenvolvimento de uma plataforma IoT de baixo custo, baseada em Visão Computacional e Redes Neurais Artificiais (modelo YOLO), para a análise automatizada e em tempo real de imagens capturadas na entrada das colmeias. Quando identificada a presença de forídeos, o sistema envia alertas imediatos ao meliponicultor, possibilitando uma resposta ágil e eficaz. A arquitetura, fundamentada em Edge Computing e implementada em hardware acessível, busca preencher uma lacuna de pesquisa ao oferecer uma solução eficiente, escalável e aplicável às condições da meliponicultura brasileira, contribuindo diretamente para a preservação das colônias e para a sustentabilidade da atividade.

## **OBJETIVO**

O presente projeto tem como objetivo principal desenvolver uma plataforma IoT baseada em visão computacional e redes neurais para o monitoramento automatizado de colmeias de abelhas sem ferrão, possibilitando a identificação e alerta precoce da presença de forídeos, de forma a auxiliar o meliponicultor na tomada de decisões preventivas e na preservação da colônia. Os objetivos específicos incluem: (I) implementar um sistema de captura de imagens por câmera instalada na entrada da colmeia; (II) desenvolver e treinar um modelo de IA com taxa mínima de 85% de acurácia na detecção de forídeos; (III) integrar o modelo à plataforma IoT de baixo custo; (IV) criar interface de alerta intuitiva para o meliponicultor; e (V) validar o sistema em condições reais, medindo precisão, tempo de resposta e usabilidade.

## **ESTADO DA ARTE**

A meliponicultura é reconhecida por sua importância ecológica e socioeconômica, sobretudo pela contribuição das abelhas sem ferrão à polinização e à manutenção da biodiversidade. Contudo, os meliponicultores enfrentam desafios significativos de manejo, incluindo ataques de forídeos que afetam diretamente a produtividade e a sobrevivência das colônias. Estudos etnográficos e revisões destacam o valor cultural e os usos das abelhas sem ferrão, bem como a necessidade de soluções de manejo adaptadas às realidades locais (Roubik, 2023; Adler et al., 2023; Embrapa, 2019).

O primeiro trabalho correlato relevante, de (Zheng et al., 2024), descreve uma arquitetura de monitoramento inteligente de colmeias baseada em IoT. O sistema integra sensores ambientais (temperatura, umidade, peso), câmeras e uma plataforma em nuvem para visualização e análise do estado da colônia. A proposta enfatiza a coleta contínua de dados e a análise remota para

apoiar decisões de manejo, apontando ganhos em monitoramento em tempo real e centralização da informação. As limitações relatadas incluem dependência de conectividade, consumo energético e necessidade de calibração de sensores para diferentes ambientes.

O segundo estudo, apresentado por (Bilik et al., 2024), faz um levantamento das técnicas de aprendizado de máquina e visão computacional utilizadas no monitoramento apícola. A revisão resume arquiteturas como redes neurais convolucionais (CNNs) e detectores de objetos, tipos de entrada (imagem, vídeo, espectrogramas acústicos) e aplicações (contagem de tráfego, detecção de parasitas e reconhecimento de comportamento). Os autores destacam que soluções baseadas em sistemas embarcados e microcontroladores são viáveis, mas dependem fortemente da qualidade dos conjuntos de dados e da adequação dos modelos leves ao processamento em borda.

O terceiro trabalho, conduzido por (Robles-Guerrero et al., 2024), investiga o uso de redes neurais convolucionais para classificação em tempo real de padrões visuais de colmeias em hardware restrito. O estudo avaliou várias arquiteturas de CNN em dispositivos como Raspberry Pi e Jetson Nano, realizando otimização de hiperparâmetros e validação cruzada. Os resultados indicaram precisão acima de 90% com baixo consumo energético, demonstrando que modelos otimizados podem ser aplicados de forma eficiente em monitoramento contínuo de colmeias.

O quarto trabalho analisado, de (Kumar et al., 2023), propôs versões leves de modelos *You Only Look Once* (YOLO) para detecção e classificação de insetos em imagens de campo. Os autores introduziram módulos de atenção e adaptações estruturais para reduzir o custo computacional. Nos experimentos realizados, o modelo atingiu desempenho elevado, com F1-score próximo de 0,90 e mAP de aproximadamente 93%, evidenciando o potencial do uso de arquiteturas otimizadas para aplicações em ambientes agrícolas e apícolas.

Comparando os trabalhos correlatos com a proposta deste estudo, observam-se semelhanças e lacunas claras. Semelhanças: todos exploram a combinação de IoT e aprendizado de máquina ou visão computacional para o monitoramento contínuo, demonstrando que modelos leves (CNNs otimizadas, variantes do YOLO, MobileNet e EfficientDet) podem operar em hardware restrito com boa acurácia (Zheng et al., 2024; Bilik et al., 2024; Robles-Guerrero et al., 2024; Kumar et al., 2023). Em contraste, há escassez de estudos voltados especificamente à meliponicultura brasileira e ao problema dos forídeos (Phoridae) em ambientes tropicais, nos quais variáveis como sazonalidade, diversidade de espécies e práticas locais de manejo impactam fortemente o controle das infestações. Trabalhos entomológicos e de manejo (Oliveira, 2013) destacam o uso de armadilhas e ajustes nas colmeias, mas também apontam limitações experimentais e a necessidade de soluções automatizadas. Assim, a proposta deste estudo diferencia-se ao adaptar arquiteturas leves de YOLO e CNNs a imagens capturadas na entrada de colmeias de abelhas sem ferrão em contexto tropical, integrando detecção em tempo real de forídeos com uma plataforma IoT projetada para operação off-grid e robustez frente a variações ambientais, preenchendo uma lacuna aplicada na literatura.

## METODOLOGIA

O cenário que motivou o desenvolvimento deste projeto parte da dificuldade enfrentada pelos meliponicultores em identificar de forma rápida e precisa a presença de forídeos nas colmeias. A observação manual exige tempo e atenção constante, o que se torna inviável em sistemas com múltiplas colônias. Essa limitação permite que a infestação avance antes de ser notada, comprometendo a saúde das abelhas sem ferrão e, em muitos casos, levando à perda total da colmeia. Diante desse contexto, percebeu-se a necessidade de uma solução tecnológica capaz de automatizar o monitoramento e oferecer respostas imediatas ao meliponicultor.

A ideia central do projeto é utilizar uma câmera posicionada na entrada da colmeia para

capturar imagens contínuas da movimentação das abelhas. Essas imagens são enviadas a um módulo de processamento, onde uma rede neural artificial realiza a análise visual e identifica se o inseto presente é uma abelha sem ferrão ou um forídeo. Para garantir resultados precisos, o sistema realiza o pré-processamento das imagens, ajustando brilho, contraste e removendo ruídos. Após a análise, caso a IA detecte a presença de um forídeo, um alerta é automaticamente gerado e enviado ao meliponicultor por meio da plataforma IoT, permitindo que ele intervenha de forma imediata, evitando a proliferação de larvas e a contaminação da colmeia.

De forma resumida, o fluxo de funcionamento do sistema segue o seguinte encadeamento lógico: captura da imagem → pré-processamento → análise pela rede neural → detecção de forídeo → geração de alerta → intervenção do meliponicultor. O fluxograma da Figura 1 ilustra o processo de captura, análise e geração de alerta. Essa metodologia busca unir simplicidade de implementação e eficiência no monitoramento, oferecendo uma ferramenta prática, de baixo custo e com potencial para melhorar significativamente o manejo das abelhas sem ferrão.

A arquitetura do sistema será composta por uma câmera Raspberry i HQ conectada a um Raspberry Pi 4, responsável pelo processamento local via modelo YOLOv8n, otimizado com TensorFlow Lite. As imagens capturadas passam por redimensionamento ( $640 \times 640$ ) e normalização antes da inferência. As métricas de avaliação incluem acurácia, precisão, recall e F1-score, com meta mínima de 85% de acerto na detecção de forídeos.

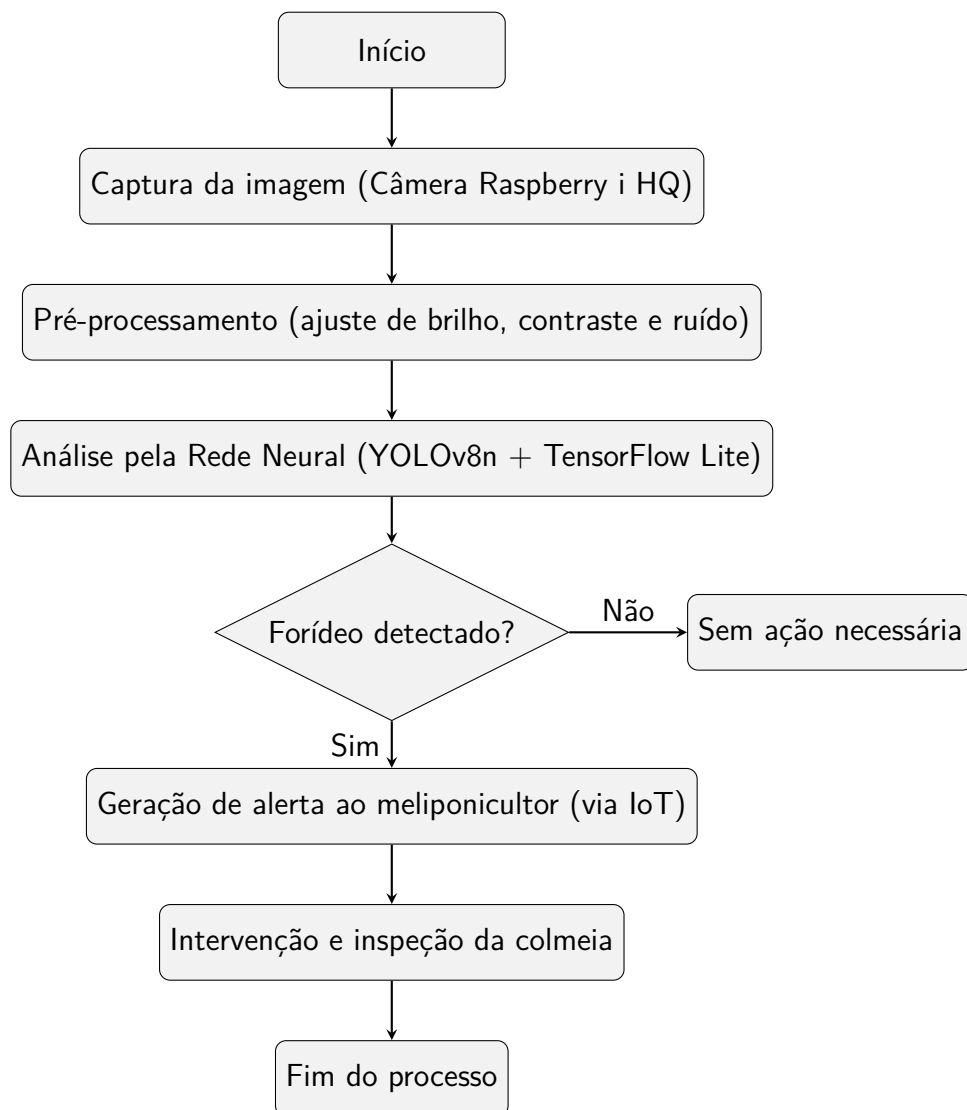


Figura 1 – Fluxograma do funcionamento do sistema de detecção automática de forídeos.

## RESULTADOS PRELIMINARES

Em desenvolvimento.

## CONCLUSÃO

Em desenvolvimento.

## REFERÊNCIAS

ADLER, M. et al. Stingless bees: uses and management by meliponiculturists. **Ethnobiology and Conservation**, v. 12, p. 1–18, 2023. DOI: 10.15451/eco2023-12-12.1-18.

BILIK, S. et al. Machine learning and computer vision techniques in beehive monitoring. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 212, p. 107748, 2024. DOI: 10.1016/j.compag.2024.107748.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPQ). **Pesquisa investiga os forídeos: principal praga que acomete a meliponicultura**. Acesso em: 28 out. 2025. 2023.

Disponível em: <https://www.gov.br/cnpq/pt-br/assuntos/noticias/pesquisa-do-dia/pesquisa-investiga-os-forideos-principal-praga-que-acomete-a-meliponicultura>

EMBRAPA. Relatório aponta importância da polinização para a agricultura. **Ministério da Agricultura e Pecuária**, p. 1–3, 2019. Acesso em: 27 out. 2025.

Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/relatorio-a-ponta-importancia-da-polinizacao-para-a-agricultura>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Painel de especialistas mundial alerta para os riscos de insegurança alimentar com o declínio dos polinizadores**.

Acesso em: 28 out. 2025. 2023.

Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/10559060/painel-de-especialistas-mundial-alerta-para-os-riscos-de-inseguranca-alimentar-com-o-declinio-dos-polinizadores>

KUMAR, N. et al. YOLO-Based Light-Weight Deep Learning Models for Insect Detection. **Agriculture**, v. 13, p. 1827, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13101827.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Manual de doenças das abelhas**. Brasília, 2022. Acesso em: 28 out. 2025.

Disponível em:

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/programas-de-saude-animal/ManualdeDoencasdasAbelhaswebcomprimido.pdf>

OLIVEIRA, A. P. M. Body size variation, abundance and control techniques of *Pseudohypocera kerteszi* — a plague of stingless bee keeping. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 57, p. 45–52, 2013. DOI: 10.1590/S0085-56262013000100007.

ROBLES-GUERRERO, A. et al. Convolutional Neural Networks for Real Time Bee Monitoring. **Applied Sciences**, v. 14, p. 3210, 2024. DOI: 10.3390/app14063210.

ROUBIK, D. W. Stingless Bee (Apidae: Apinae: Meliponini) Ecology. **Annual Review of Entomology**, v. 68, p. 1–25, 2023. DOI: 10.1146/annurev-ento-041720-075444.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEDEST). **Valoração da polinização no Brasil**. Acesso em: 28 out. 2025. 2023.

Disponível em: [https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2023-03/ebook.pdf](https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-03/ebook.pdf)

ZHENG, Y. et al. Intelligent beehive monitoring system based on Internet of Things. **Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments**, v. 16, p. 1–17, 2024. DOI: 10.3233/AIS-230124.