

Desenvolvimento e Teste de Software para Armadilha Automatizada de Detecção de Mosca-das-Frutas

Tito Alex Medeiros*, Pedro Luiz de Paula Filho*, Claudio Leones Bazzi*, Luciano Gebler†

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Brasil

†Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Vacaria, Brasil

Email: titoalex.medeiros@gmail.com, pedrol@professores.utfpr.edu.br, bazzi@professores.utfpr.edu.br, luciano.gebler@embrapa.br

Abstract—This article details the development and initial testing of software integrated into an automated fruit fly detection trap. The system combines the McPhail trap with image capture and computational analysis technologies, using Python and OpenCV for image processing. Preliminary laboratory tests were conducted to evaluate the accuracy and efficiency of the software in identifying and counting flies. The results indicate promising technical feasibility, highlighting the need for improvements in the detection algorithm and optimization for field operations. This work provides a basis for future implementations in real agricultural environments, aiming to improve pest management and increase the sustainability of agricultural practices.

Keywords—Pest Detection; Fruit Fly; Agricultural Automation; PDI.

Resumo—Este artigo detalha o desenvolvimento e os testes iniciais de um software integrado em uma armadilha automatizada para a detecção da mosca-das-frutas. O sistema combina a armadilha McPhail com tecnologias de captura de imagem e análise computacional, utilizando Python e OpenCV para processamento de imagens. Testes preliminares em laboratório foram conduzidos para avaliar a precisão e a eficiência do software na identificação e contagem das moscas. Os resultados indicam uma viabilidade técnica promissora, destacando a necessidade de melhorias no algoritmo de detecção e a otimização para operações em campo. Este trabalho oferece uma base para futuras implementações em ambientes agrícolas reais, visando aprimorar o manejo de pragas e aumentar a sustentabilidade das práticas agrícolas.

Palavras-chave—Detecção de Pragas; Mosca-das-Frutas; Automação Agrícola; PDI.

I. INTRODUÇÃO

A agricultura desempenha um papel fundamental na economia global, sendo responsável por fornecer alimentos, matérias-primas e emprego para bilhões de pessoas. No Brasil, segundo [1], a importância do setor agrícola é ainda mais pronunciada, representando uma significativa parcela do Produto Interno Bruto (PIB) e sendo um dos principais motores de exportação. Dentro deste setor, de acordo com [2] a fruticultura destaca-se como uma área de grande importância, devido às condições

climáticas e de solo favoráveis que o país oferece além de alcançar a maior série histórica de valor exportado.

Entretanto, a produção frutífera enfrenta diversos desafios, de acordo com [3], um dos mais significativos é o manejo de pragas, particularmente a mosca-das-frutas, que pode causar danos extensivos às culturas e, consequentemente, impactar negativamente a economia agrícola. Tradicionalmente, como demonstrado por [4] o controle dessas pragas tem sido realizado por métodos manuais, como a inspeção regular de armadilhas físicas, como a armadilha McPhail. Esses métodos, embora eficazes em certa medida, são trabalhosos, custosos e muitas vezes ineficientes em termos de sustentabilidade.

De acordo com [5] recomenda que a armadilha McPhail passe por inspeções semanais, pois intervalos grandes acabam reduzindo sua eficácia e acelerando a decomposição das moscas capturadas. Nesse processo, é realizada a identificação e contagem das moscas-das-frutas, além do cálculo da taxa de captura por dia em cada armadilha. Medidas de controle tornam-se necessárias para garantir a qualidade dos frutos quando o índice MAD (mosca/armadilha/dia) atinge ou excede o valor 1, embora a aceitação desse índice dependa das exigências de mercado (seja para exportação ou consumo local) e do propósito dos frutos (consumo direto ou processamento). Após identificar as pragas, o controle costuma ser feito com aplicação de pesticidas.

Neste contexto, a automação e a adoção de tecnologias digitais emergem como soluções promissoras para otimizar o monitoramento e controle de pragas. A integração da armadilha McPhail com câmeras digitais e algoritmos de processamento de imagem visa fornecer uma solução que, ao detectar e quantificar o número de moscas capturadas, identifica possíveis níveis de infestação de forma precisa e menos invasiva e custosa. Essa abordagem permite determinar quando as moscas-das-frutas se tornam uma ameaça significativa à plantação,

facilitando o monitoramento e controle da praga. Este artigo descreve o desenvolvimento de um sistema automatizado de detecção, com foco na montagem do hardware e no desenvolvimento e teste do software responsável pela análise das imagens capturadas.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema automatizado de detecção de mosca-das-frutas foi projetado para garantir eficiência e autonomia em campo. O Raspberry Pi 3 Modelo B+ foi escolhido como núcleo de processamento, integrando uma câmera de 4 megapixels para captura de imagens em boa resolução. O sistema opera de forma autônoma, utilizando energia solar, assegurando funcionalidade contínua em áreas remotas. O software foi desenvolvido em Python, utilizando a biblioteca OpenCV no ambiente Py-Charm, e roda no Raspberry Pi OS. A armadilha McPhail foi modificada para acomodar os componentes eletrônicos, com testes preliminares demonstrando a viabilidade do sistema em condições ambientais variadas.

A. Hardware

O sistema de detecção é baseado em um Raspberry Pi 3 Modelo B+ escolhido por sua capacidade de oferecer um equilíbrio entre custo e funcionalidade robusta. Este microcomputador atua como o núcleo do sistema, coordenando a captura e o processamento de dados. A escolha de uma câmera de 4 megapixels foi motivada pela necessidade de capturar imagens de qualidade, essenciais para a precisão da análise digital e para posteriores projetos. A câmera é capaz de capturar imagens com resolução que garanta a detecção de detalhes críticos para a identificação de moscas, Como demonstrado na Figura 1.



Fig. 1. Montagem física (Autoria Própria, 2024).

Além disso, o sistema foi projetado para operar de forma autônoma em ambientes externos, utilizando um sistema de alimentação solar. Esse sistema é composto por uma bateria de 12V com capacidade de 7A/h, duas placas solares de 20W e um conversor, que juntos asseguram que o processador e os componentes associados permaneçam energizados durante todo o período de operação. A inclusão da alimentação solar não apenas garante a sustentabilidade do projeto em áreas remotas, sem acesso a fontes de energia tradicionais, mas também reflete um compromisso com a utilização de soluções ecologicamente responsáveis. Dessa forma, o sistema pode funcionar de maneira contínua, mantendo a eficiência e confiabilidade necessárias para o monitoramento e detecção precisos.

O sistema como demonstrado no esquemático da Figura 2 também integra um módulo GPS, que desempenha um papel crucial na localização geográfica precisa do dispositivo em campo. A utilização do módulo GPS permite ao sistema registrar a posição exata de cada captura de imagem, o que é vital para o mapeamento espacial da presença de moscas-das-frutas. Com esses dados, é possível realizar análises mais detalhadas e contextualizadas, facilitando a identificação de padrões de infestação e a implementação de medidas de controle mais eficazes. A combinação do módulo GPS com os demais componentes do sistema garante uma abordagem integrada e abrangente para o monitoramento ambiental.

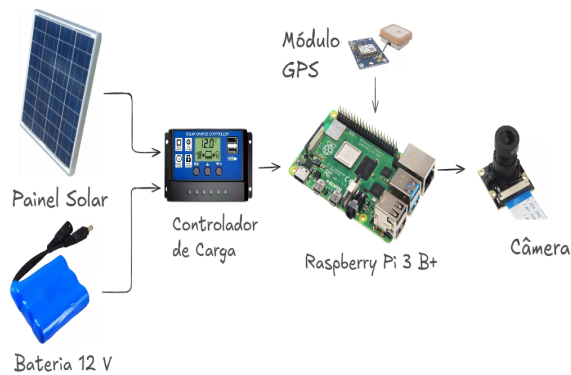


Fig. 2. Esquemático (Autoria Própria, 2024).

B. Software

Na escolha das aplicações, preferiu-se utilizar ferramentas de código aberto pois não apenas oferecem alto desempenho e flexibilidade, mas que também são mantidas e aprimoradas por uma comunidade global. Isso garante que o desenvolvimento seja sustentável e que o conhecimento gerado possa ser compartilhado e ampliado por outros profissionais e pesquisadores.

O software do sistema foi desenvolvido em Python¹, utilizando a biblioteca OpenCV² para o processamento de imagens. O software executa o controle da câmera para capturar imagens em tempo real. A escolha do Python se deve à sua simplicidade, flexibilidade e a vasta gama de bibliotecas disponíveis, o que o torna ideal para projetos de análise de imagens em tempo real. O desenvolvimento foi realizado no ambiente PyCharm³, que oferece um conjunto de ferramentas robustas para escrita, teste e depuração de código, facilitando o desenvolvimento iterativo. O sistema operacional escolhido foi o Raspberry Pi OS⁴, baseado em Debian, o que garante uma operação estável e eficiente do hardware. Este sistema operacional foi otimizado para aproveitar ao máximo as capacidades do Raspberry Pi, assegurando que o software possa ser executado de maneira eficiente, mesmo com os recursos limitados do dispositivo, sem comprometer a performance.

C. Montagem Física

A montagem do sistema iniciou-se com as modificações na armadilha McPhail, que foram adaptadas para integrar o Raspberry Pi 3B+ e a câmera sem comprometer a funcionalidade básica da armadilha. A câmera foi posicionada de forma a capturar toda a área interna da armadilha, testes foram necessários para garantir o posicionamento ideal que não

¹<https://www.python.org/>

²<https://opencv.org/>

³<https://www.jetbrains.com/pycharm/>

⁴<https://www.raspberrypi.org/software/>

atrapalhasse o fluxo dos insetos. Garantindo assim que qualquer mosca capturada seja visível para o sistema de detecção. O sistema de alimentação solar foi cuidadosamente dimensionado, levando em consideração o consumo energético contínuo do Raspberry Pi e da câmera. Testes preliminares de durabilidade e resistência foram realizados para garantir que o sistema possa operar de maneira eficaz em diversas condições ambientais, verificou-se que o sistema drena em torno de 60Wh por dia, sendo assim a bateria e o sistema energético deve suprir a demanda necessária.

A Figura 3 está dividida em quatro subfiguras que ilustram diferentes aspectos do sistema. (A) Mostra o sistema completo montado dentro da gaiola de teste, evidenciando a integração entre a armadilha e os componentes eletrônicos. (B) Visão superior, foca na montagem da câmera dentro da armadilha, destacando como o dispositivo foi adaptado para capturar imagens de forma otimizada. (C) Oferece uma vista interna da armadilha, mostrando a posição da câmera e como ela é direcionada para cobrir toda a área interna. Finalmente, (D) apresenta um exemplo de *frame* capturado pela câmera, demonstrando a qualidade da imagem e a clareza com que as moscas são detectadas no sistema. Essas ilustrações são fundamentais para compreender a configuração do sistema e a eficácia das soluções implementadas.

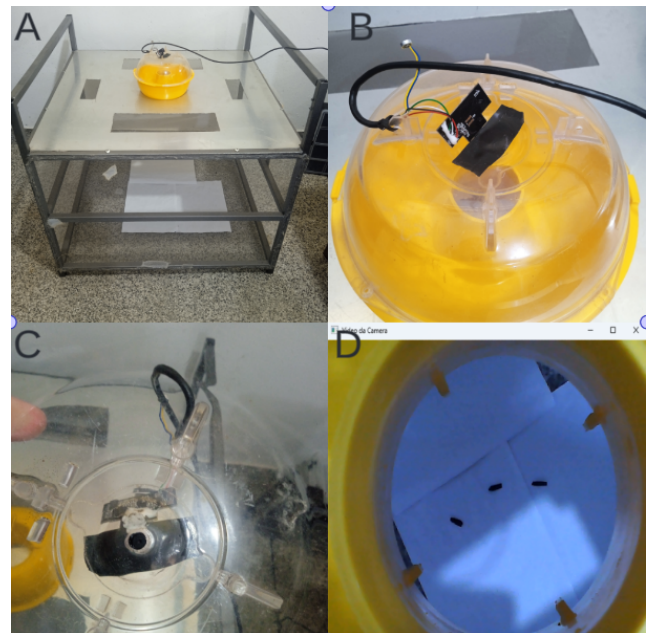


Fig. 3. Montagem física (Autoria Própria, 2024).

D. Desenvolvimento

O desenvolvimento do software focou na criação de um algoritmo capaz de processar imagens em tempo real para identificar e contar moscas-das-frutas. Esse processo foi dividido em várias etapas, utilizando-se a técnicas de processamento digital de imagem que possui ferramentas importantes para esse fim como exemplificado por [6], como exemplificado na Figura 4 cada uma desempenhando um papel crucial para garantir a precisão e eficiência da detecção. A primeira etapa do processo envolve a ativação da câmera da biblioteca OpenCV, que é configurado para acessar a primeira câmera disponível no dispositivo. Uma vez ativada, a câmera captura *frames* em tempo real, que são imediatamente processados para análise.

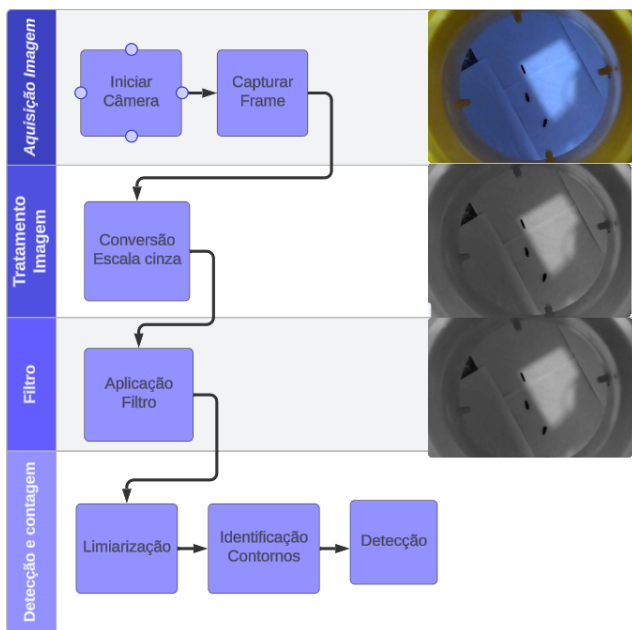


Fig. 4. Fluxograma desenvolvimento software (Autoria Própria, 2024).

Após a captura, as imagens são convertidas para escala de cinza. Essa conversão é fundamental, pois reduz a complexidade das imagens originais, eliminando cores e simplificando os dados, o que facilita a identificação das características relevantes, como as moscas-das-frutas. Para melhorar a qualidade das imagens e reduzir ruídos indesejados, é aplicado um filtro Gaussiano. Esse filtro suaviza a imagem sem comprometer a definição das bordas, preservando os detalhes essenciais para a detecção precisa das moscas.

A próxima etapa envolve a aplicação de um método de limiarização, que transforma a imagem em um formato binário. Essa binarização é crucial, pois destaca as moscas contra o fundo, facilitando a detecção dos contornos. Utilizando a

função de detecção de contornos do OpenCV, o software identifica as formas que correspondem às moscas. Cada contorno identificado é analisado para calcular a área correspondente, e, caso o contorno se encaixe nos critérios definidos para uma mosca (Largura, Comprimento, Área e Contraste do valor dos pixel), o software desenha um retângulo delimitador ao redor da forma.

Além da detecção, o software é responsável por contar as moscas identificadas em cada *frame* processado. O número total de moscas detectadas é armazenado para posterior análise. Essa contagem automática proporciona uma vantagem significativa em relação aos métodos tradicionais, que dependem de inspeção manual e estão sujeitos a erros humanos.

Como etapa final, a imagem processada, com as moscas identificadas e contadas, é exibida e salva para referência futura. Esse método, embora ainda em fase inicial, demonstrou ser promissor na detecção e contagem de moscas, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento contínuo do projeto. Os resultados obtidos até agora indicam que, com refinamentos no algoritmo e testes adicionais em diferentes condições ambientais, o sistema pode se tornar uma ferramenta valiosa para o manejo sustentável de pragas na agricultura.

E. Testes

Primeiramente, como indicado na Tabela I foram conduzidos testes estruturais na armadilha McPhail adaptada para assegurar que sua estrutura atendesse aos requisitos de capturar imagens claras e nítidas, possibilitando a identificação das moscas. Os componentes eletrônicos, incluindo a câmera e a placa solar, foram submetidos a testes de funcionamento em laboratório, com foco na captação de imagens e no carregamento adequado do sistema. Os testes elétricos consideraram também a eficiência de carga e descarga da bateria de 12V em paralelo com a placa solar, para garantir a autonomia energética do sistema.

Em seguida, testes preliminares de detecção foram realizados com simulacros plásticos posicionados no interior da armadilha, imitando o aspecto visual das moscas-das-frutas. Esses testes visaram identificar o nível de reconhecimento da câmera e a sensibilidade do algoritmo de detecção a objetos de diferentes texturas e formatos e tiveram um excelente resultado. Por fim, foram realizadas avaliações com imagens de moscas reais dentro do ambiente controlado de laboratório, onde o desempenho de detecção foi de aproximadamente 70%, sugerindo que o algoritmo ainda requer ajustes para melhorar a precisão antes de ser aplicado em cenários de campo.

TABELA I
TESTES REALIZADOS NO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE
MOSCA-DAS-FRUTAS

Item e Objetivo	Descrição do Teste e Resultados Observados
Teste Estrutural: Verificar a funcionalidade da armadilha McPhail adaptada	Avaliação da capacidade de captura de imagens das moscas e vedação da armadilha. Resultado: Estrutura aprovada para testes laboratoriais.
Testes Elétricos: Verificar o funcionamento da câmera e alimentação por placa solar e bateria de 12V	Análise de carga da bateria, suporte do controlador ao Raspberry Pi e funcionamento contínuo da câmera. Resultado: Sistema alimentado corretamente.
Teste com Simulacros Plásticos: Avaliar a detecção simulando moscas com simulacros plásticos	Colocação de pedaços de plástico na armadilha para avaliar a eficiência do reconhecimento visual da câmera e do algoritmo. Resultado: Reconhecimento de 85% a 95% dos objetos testados.
Teste com Moscas Reais: Avaliar a capacidade de detecção de moscas reais em ambiente laboratorial	Teste com moscas reais em laboratório, analisando a precisão do algoritmo de detecção em situações controladas. Resultado: Reconhecimento de aproximadamente 70%.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos testes preliminares indicam que o sistema automatizado desenvolvido é capaz de detectar e contar moscas-das-frutas com um alto grau de precisão em condições controladas, como demonstrado na Figura 5. A integração da armadilha McPhail com o Raspberry Pi 3 e uma câmera de alta definição provou ser uma abordagem tecnicamente viável para a captura de imagens de alta qualidade em ambientes controlados. Isso é crucial para a detecção automatizada das moscas-das-frutas, pois permite que o sistema identifique com precisão as pragas e realize a contagem automática em tempo real.

Durante os testes em laboratório, o algoritmo de processamento de imagens mostrou-se eficiente para a maioria das situações, mas apresenta dificuldades sob condições de iluminação extrema (como sob luz intensa ou em baixa luminosidade), o que compromete a precisão em ambientes de campo. Para contornar esse problema, a implementação de algoritmos adaptativos que ajustem os parâmetros de detecção automaticamente conforme as condições de luz poderiam melhorar a detecção em campo.

Outro ponto observado foi o consumo de energia do sistema. O Raspberry Pi, juntamente com a câmera, consome uma quantidade significativa de energia, o que pode limitar a autonomia do sistema em campo. Embora o painel solar e a bateria ofereçam uma solução viável para garantir a operação contínua, há espaço para otimização, especialmente em relação

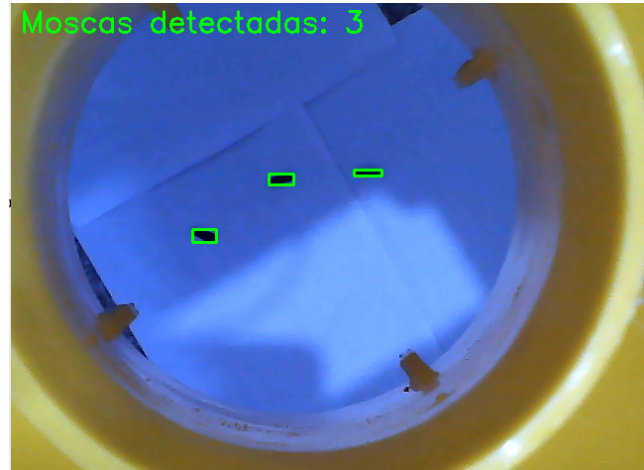


Fig. 5. Frame detecção (Autoria Própria, 2024).

ao modo de operação da câmera e à frequência de captura de imagens. A implementação de modos de economia de energia, onde a câmera opera em uma taxa de captura reduzida durante períodos de menor atividade, pode ajudar a prolongar a vida útil da bateria e garantir a operação contínua em ambientes remotos por períodos mais longos.

Além disso, a precisão do sistema em contar as moscas-das-frutas mostrou-se promissora, mas não isenta de desafios. Durante os testes, pequenos erros foram observados, principalmente relacionados à sobreposição de insetos na imagem capturada. Isso sugere que o algoritmo atual pode não ser suficientemente robusto para diferenciar moscas individuais quando elas estão agrupadas, o que é uma limitação significativa, especialmente em situações onde a densidade de pragas é alta.

IV. CONCLUSÕES

Os resultados sugerem que, com algumas melhorias no algoritmo de detecção e na gestão do consumo de energia, o sistema poderá ser aplicado com sucesso em ambientes de produção agrícola, contribuindo para um manejo mais eficiente e sustentável das pragas. Além disso, a integração do módulo GPS oferece uma vantagem adicional ao permitir a geolocalização precisa das infestações, facilitando a tomada de decisões estratégicas no controle das pragas. Isso pode ser particularmente útil em grandes plantações, onde a identificação rápida e precisa dos focos de infestação pode ajudar a direcionar as medidas de controle de maneira mais eficaz e econômica.

Em suma, enquanto os resultados preliminares são encorajadores, há necessidade de refinamentos contínuos, especialmente no que diz respeito ao algoritmo de detecção e à eficiência energética, é evidente. No entanto, o progresso



alcançado até agora destaca o potencial significativo do uso combinado de técnicas de visão computacional e hardware especializado para contribuir de maneira substancial para a agricultura digital e o manejo sustentável de pragas. A evolução deste projeto pode abrir caminho para soluções tecnológicas inovadoras que suportem práticas agrícolas mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

Os próximos passos incluem a validação em campo do sistema, onde será testado em condições reais de produção agrícola. Essa fase é essencial para avaliar a robustez do sistema e identificar possíveis ajustes que possam ser necessários para a implementação em larga escala. Acredita-se que, com essas melhorias, o sistema possa oferecer uma solução valiosa para o manejo integrado de pragas, reduzindo a necessidade de pesticidas e promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis.

A. Trabalhos Futuros

Para ampliar ainda mais a eficiência e precisão do sistema, os trabalhos futuros podem explorar o uso de técnicas avançadas de aprendizado profundo *Deep Learning*, segundo [7] técnica muito utilizada em problemas de engenharia, a integração de algoritmos como o YOLO para a detecção de objetos em tempo real. A aplicação de redes neurais convolucionais pode permitir a detecção mais robusta e precisa das moscas-das-frutas, mesmo em condições de iluminação adversas e com grande variabilidade de cenários.

O YOLO mostra-se uma abordagem promissora, pois permite a detecção rápida e simultânea de múltiplos objetos em uma única passagem da imagem pela rede neural, o que pode reduzir significativamente o tempo de processamento e aumentar a eficiência do sistema. Além disso, o uso de técnicas de aprendizado profundo pode permitir que o sistema aprenda a identificar diferentes espécies de moscas ou outras pragas, tornando-se uma ferramenta ainda mais versátil para o monitoramento agrícola.

Outra área de pesquisa a ser explorada é a integração do sistema com redes sem fio, permitindo o monitoramento em tempo real de vastas áreas agrícolas com o mínimo de intervenção humana. Combinado com técnicas de aprendizado profundo, isso poderia levar a um sistema de manejo de pragas altamente automatizado e escalável, com a capacidade de reagir rapidamente a surtos de pragas e minimizar o uso de pesticidas.

Por fim, a implementação de um sistema de *feedback* contínuo, onde os dados coletados pelo sistema são usados para treinar e aprimorar os modelos de detecção ao longo do tempo, poderia garantir que o sistema permaneça eficaz mesmo diante de mudanças nas condições ambientais e no comportamento das pragas. Essa abordagem de aprendizado contínuo tem o potencial de tornar o sistema cada vez mais adaptável e

eficiente, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis e produtivas a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- [1] Embrapa, “VII Plano Diretor da Embrapa 2020-2030,” <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217274/1/VII-PDE-2020.pdf>, 2020, accessed: 2024-03-20.
- [2] MAPA, “Setor de fruticultura se destaca nas exportações brasileiras,” <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/setor-de-fruticultura-se-destaca-nas-exportacoes-brasileiras#:~:text=As%20exporta%C3%A7%C3%B5es%20de%20fruticultura%20em,%2C5%25%20no%20ano%20passado,2024>, accessed: 2024-08-15.
- [3] C. D. Alvarenga, “Moscas-das-frutas (diptera: Tephritidae) e seus parasitóides em plantas hospedeiras de três municípios do norte do estado de minas gerais,” *Arquivos do Instituto Biológico*, vol. 76, no. 2, pp. 195–204, 2019.
- [4] F. R. Barbosa, “Moscas-das-frutas,” <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/manga/>, 2024, accessed: 2024-03-25.
- [5] B. Paranhos, F. Barbosa, F. N. P. Haji, J. A. de Alencar, and A. N. Moreira, “Monitoramento de moscas-das-frutas e o seu manejo na fruticultura irrigada do submédio são francisco.” 2004.
- [6] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2018.
- [7] I. N. d. Silva, R. Attux, R. Sampaio Neto, and S. R. d. Souza, *Redes Neurais Artificiais para Engenharia e Ciências Aplicadas*. São Paulo: Editora Artliber, 2010.