

Desenvolvimento de armadilha eletrônica para o monitoramento da mosca-das-frutas sul-americana

Development of an electronic trap for monitoring the South American fruit fly

Frederico Victor Dos Santos Silva¹, Glaucio José Gomes², Luciano Gebler³, Regis Sivori Silva dos Santos³, Ricardo Sobjak⁴, Paulo Cesar Tonin⁵, Kelyn Schenatto⁶, Claudio Leones Bazzi^{7*}, Pedro Luiz de Paula Filho⁸

¹ Acadêmico, Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira (PR), Brasil, fredericosilva@alunos.utfpr.edu.br

² Professor, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Avenida Presidente Tancredo Neves, 3838, (85870-650) Foz do Iguaçu, Brasil. E-mail: glauciogames@hotmail.com

³ Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Vacaria (RS), Brasil, luciano.gebler@embrapa.br

⁴ Professor, Departamento de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira (PR), Brasil, e-mail

⁵ Professor, Departamento de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira (PR), Brasil, e-mail

⁶ Professor, Departamento de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira (PR), Brasil, e-mail

⁷ Professor, Departamento de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira (PR), Brasil, bazzi@utfpr.edu.br

⁸ Professor, Departamento de Ciência da Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira (PR), Brasil, plpf2004@gmail.com

RESUMO

Pesquisas na área de agricultura digital e de precisão possuem um papel fundamental no desenvolvimento e otimização de novas tecnologias dedicadas ao monitoramento de pragas invasoras no setor de fruticultura. Nesse contexto, as moscas do gênero *Anastrepha spp.*, conhecidas como mosca-das-frutas sul-americana, são responsáveis por perdas bilionárias em safras de várias espécies de frutas ao redor do mundo. No sul do Brasil, a variedade que tem causado maior preocupação é a *Anastrepha fraterculus*, que pode inviabilizar quase que toda a produção de um pomar, caso não seja realizado o controle em tempo hábil. Essas pragas são controladas por meio da pulverização de inseticidas, porém a eficiência desse método depende do conhecimento prévio referente a condições climáticas e à localização da infestação. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um sistema de hardware acoplado a um protótipo de armadilha eletrônica, capaz de registrar em tempo real a captura de insetos por meio de sensores optoeletrônicos e imagens da espécie-alvo, informando também as condições do ambiente externo (temperatura, umidade, radiação ultravioleta e localização geográfica). As informações obtidas por um conjunto de armadilhas permitem o mapeamento da infestação, viabilizando a adoção de estratégias mais efetivas ao combate quando comparado com os métodos tradicionais. Os resultados mostraram que as armadilhas eletrônicas desenvolvidas permitem a detecção da mosca-das-frutas e outras populações de insetos, bem como a coleta de informações de campo em tempo real. Contudo, evidenciamos algumas lacunas que devem ser questionadas e desenvolvidas em trabalhos futuros para a maior precisão das armadilhas eletrônicas, contribuindo assim para a redução dos custos operacionais no campo e a otimização de um manejo sustentável em diversas culturas frutíferas.

Palavras-chave: agricultura digital; sistema eletrônico; *Anastrepha fraterculus*.

ABSTRACT

Research in digital and precision agriculture plays a fundamental role in the development and optimization of new technologies dedicated to monitoring invasive pests in the fruit-growing sector. In this context, flies of the genus *Anastrepha spp.*, known as South American fruit flies, are responsible for billion-dollar losses in harvests of various fruit species around the world. In southern Brazil, *Anastrepha fraterculus* is the variety that has caused the greatest concern, which can make almost the entire production of an orchard unviable without its proper control. These pests are controlled by spraying insecticides; however, the efficiency of this method depends on prior knowledge regarding climatic conditions and the location of the infestation. The objective of this research

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000043>

Este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais, sem alterações e que o trabalho original seja corretamente citado.

was to develop a hardware system coupled to an electronic trap prototype, capable of recording in real time the capture of insects using optoelectronic sensors and images of the target species, also informing the conditions of the external environment (temperature, humidity, ultraviolet radiation, and geographic location). The information obtained by a set of traps allows the mapping of the infestation, enabling the adoption of more effective combat strategies than in traditional methods. The results showed that the electronic traps developed allow the detection of fruit flies and other insect populations, as well as the collection of field information in real-time. However, we highlight some gaps that must be questioned and developed in future work to improve the precision of electronic traps, contributing to the reduction of operational costs in the field and the optimization of sustainable management in various fruit crops.

Keywords: digital agriculture; electronic system; *Anastrepha fraterculus*.

1 INTRODUÇÃO

A produção de frutas envolve uma dinâmica de alta complexidade, considerando que, além dos altos custos de implantação dos pomares, o tempo de plantio até a colheita da primeira safra pode demorar anos e o manejo das áreas produtoras precisa ser constante, tanto para o controle de pragas, como para evitar doenças. Nesse contexto, principalmente no Brasil, a mosca-das-frutas (MdF) sul-americana (*Anastrepha fraterculus*) causa dano direto na fase final de produção de frutas e hortaliças (deformação, amadurecimento precoce e apodrecimento), levando a perdas de produção de 40% a 80% dependendo da localidade, variedade e época do ano (Dias et al., 2018; Mutamiswa et al., 2021).

O controle desses insetos no campo é um tema desafiador e pode ser realizado por meio de diferentes estratégias no combate e manejo, como controle biológico, químico, comportamental e técnicas de inseto estéril (Abeli et al., 2021; Devescovi et al., 2021; Zheng et al., 2021), que visam à redução de prejuízos na lavoura e obtenção de produtos de alto valor agregado devido à boa aparência e qualidade. De fato, as diferentes estratégias de controle necessitam cada vez mais explorar novos conceitos sobre o ciclo de desenvolvimento da MdF.

Por outro lado, o custo para o controle da MdF é alto, considerando que envolve um protocolo de operações manuais para a instalação e inspeção (*in loco*) de armadilhas em locais distintos e de forma distribuída no pomar (pelo menos duas por hectare), para coleta de informações relacionadas à quantidade de insetos capturados para obtenção dos níveis de infestação (Speranza et al., 2022). Como a produção envolve um ciclo extenso de tempo e o monitoramento deve ser realizado de forma periódica, com mão de obra para o controle, nem sempre pode ser feito de forma efetiva, considerando problemas relacionados ao clima e ao terreno, proporcionando menor periodicidade nas inspeções e tornando o controle menos eficiente. Para solucionar esse problema, tecnologias eficientes dedicadas a desenvolver armadilhas auto-

máticas podem ser encontradas em trabalhos prévios (Preti et al., 2021; Rigakis et al., 2021), com foco no monitoramento por imagens de insetos e detecção de insetos por sensores.

As armadilhas eletrônicas (AE) com dispositivos de câmeras em comparação com sistemas baseados em sensores tem como principal vantagem a identificação precisa de insetos e pragas invasoras, possibilitando o monitoramento em tempo real de informações agrícolas em larga escala e a longas distâncias (Preti et al., 2021). Foi demonstrado que o monitoramento remoto usando AE integra uma gestão de manejo de pragas permitindo a proteção da cultura, maior produtividade, além de melhorias na segurança de trabalho (Doitsidis et al., 2017). Do ponto de vista ambiental, o uso de tecnologias mais eficientes na captura e identificação de espécies invasoras fornecem tomadas de decisão mais rápidas no campo, resultando em maior economia na aplicação de inseticidas (Stupp et al., 2021), favorecendo um caminho economicamente viável e menos impactante.

No entanto, algumas limitações são encontradas no uso de AE para o monitoramento de espécies invasoras no campo agrícola. O custo dessa tecnologia torna-se caro para pequenos agricultores, por causa do alto valor de componentes tecnológicos, como sensores e câmeras de alta resolução (Rassati et al., 2016). A autonomia de energia elétrica no campo é necessária para longos períodos de monitoramento da praga, que também inclui coleta de dados de temperatura e umidade do ar e velocidade dos ventos, o que faz com que haja uma demanda para instalação de sistemas fotovoltaicos ou outras fontes de energias renováveis. As armadilhas podem apresentar dificuldades na detecção automática e identificação da espécie-alvo que se deseja investigar. De fato, foi demonstrado (Holguin et al., 2010) que, para algumas armadilhas usando sensores de residência e infravermelho, os insetos-alvo capturados por armadilhas eletrônicas podem causar contagens inexistentes, levando a dados contraditórios devido à subestimação de insetos capturados. Outros pesquisadores (Goldshstein et al.,

2017) observaram o mesmo efeito de subestimação de moscas presas à armadilha durante a colonização, período no qual o sistema fica sobrecarregado e não consegue discernir as moscas individualmente que entram na armadilha.

Em razão dos constantes avanços tecnológicos e das novas fronteiras de conhecimento no auge da implementação do uso de aprendizado de máquinas (Benos et al., 2021) e internet das coisas (Tzounis et al., 2017), uma vasta quantidade de informações pode ser processada no campo, em tempo real. Nesse contexto, para reduzir as limitações de AE mencionados, o objetivo desta pesquisa foi apresentar o desenvolvimento de uma solução digital, que busca substituir o processo manual de inspeção de armadilhas em pomares, bem como proporcionar o monitoramento constante da MdF em áreas produtoras, de forma automatizada, baseado no reconhecimento de imagens e em tecnologia de comunicação sem fio, realizando a identificação, contagem e transmissão das medições de dados ambientais feitas em campo para um servidor de dados, onde posteriormente, ao reunir as informações das diversas armadilhas de uma área, permite o mapeamento da infestação da praga em tempo real.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O protótipo proposto visa à instrumentação de uma armadilha do tipo Mcphail comercial, na qual foram realizadas modificações em seu interior. A parte côncava da estrutura original da armadilha foi substituída pela estrutura que suporta os sensores optoeletrônicos na armadilha, projetada usando-se o software SolidWorks e impresso em uma impressora 3D modelo GTMax 3D, proporcionando o alinhamento e isolamento dos *light emitting diode* (LED).

O sensor utilizado para detectar a passagem dos insetos no interior da armadilha foi constituído por sete LEDs emissores de infravermelhos e sete fotodiodos em cada barreira, que convertem a luz em corrente elétrica, gerando assim um sinal de tensão. Os LEDs foram associados em paralelo em diferentes barreiras, uma barreira superior e uma inferior, para identificar a direção de voo do inseto e selecionar somente os que entram realmente na armadilha.

Três amplificadores operacionais de baixa tensão alimentados em 5V presentes em uma placa de circuito impresso (PCI) atuaram como um circuito somador não inversor, para que fosse possível unir o sinal gerado por cada fotodiodo em um único sinal, além de amplificar e isolar esses sinais. Foram utilizados *light dependent resistor* (LDR) para controle da interferência da luz natural, juntamente com um filtro do tipo passa-baixas para eliminação de eventuais interferências e ruídos. Os sinais gerados pelas barreiras e pelos LDRs também foram filtrados digitalmente, possibilitando a detecção de insetos sempre que atravessavam uma das barreiras, tendo em vista que causavam queda de tensão no sinal da saída dos receptores, resultando em um sinal de leitura menor do que o sinal filtrado digitalmente. Dessa maneira, a detecção dos insetos foi gerada por meio de um novo sinal, denominado sinal de captura, que é gerado apenas quando constatada que a queda de tensão não é causada por variações de iluminação externa.

Para contabilizar e identificar as moscas capturadas por meio da AE, uma série de sensores foram utilizados, os quais estão esquematicamente ilustrados na Figura 1. O sistema de detecção foi alimentado por um painel solar de 10 W, ligado a um controlador de carga automático 12 V/24 V, com a finalidade de distribuir a energia para o circuito e duas baterias recar-

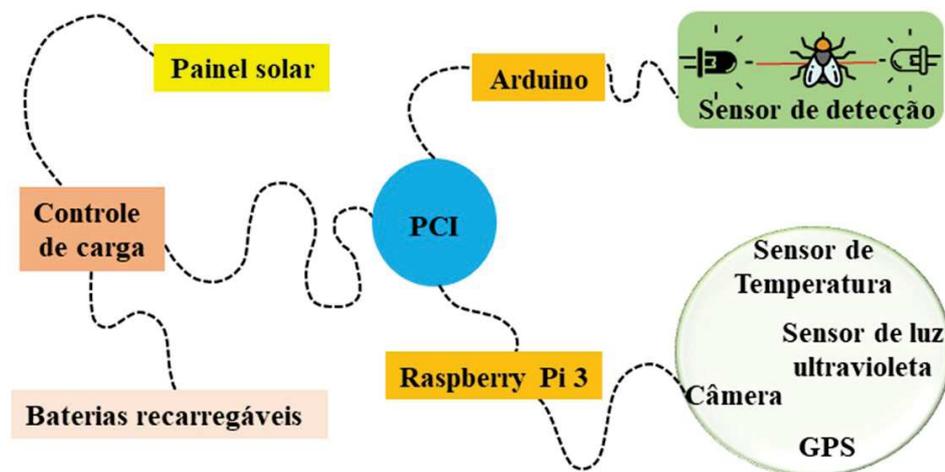


Figura 1. Esquema do sistema geral do protótipo de armadilha eletrônica e sensores de detecção.

regáveis de 12 V com capacidade de 7 Ah ligadas em paralelo com autonomia de aproximadamente 40 horas (sem que haja recarga). Com o auxílio de uma PCI que acopla um conjunto de sensores optoeletrônicos projetados por meio do software Autodesk EAGLE e confeccionados usando uma prototipadora de PCI (Modelo 1S), são enviados sinais ininterruptamente para um microcontrolador Arduino Uno (microchip ATmega328P, Mega 2560), indicando assim a entrada de qualquer inseto na armadilha e a interrupção automática do feixe de infravermelho no sensor de detecção de moscas. Esse efeito gera um sinal para um Raspberry Pi 3 (Modelo B+ Anatel), que registra automaticamente a imagem no interior da armadilha e consequentemente armazena os dados em tempo real do ambiente externo (temperatura e umidade do ar, coordenadas geográficas referentes ao local e horário da coleta da imagem).

Foram implementadas rotinas no Raspberry para coletar de dados durante a detecção das moscas efetuando o acionamento de uma câmera de captura que foi instalada na parte superior da armadilha, bem como a extração e armazenamento de informações do ambiente de cultivo, no exato momento em que recebe o sinal de captura. Os sensores utilizados para coleta de informações do ambiente de cultivo foram DHT22 para temperatura e umidade e UV UVM-30 para incidência de radiação ultravioleta. As informações de latitude e longitude das armadilhas em campo foram geradas por um Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), por meio do módulo NEO-6MV2. A captura das imagens foi realizada usando-se um módulo de câmera 5MP 160-Degree ESP32 OV5640 com lente DVP (160°).

A identificação dos insetos capturados nas AE foi feita por meio do reconhecimento de padrões de imagens do abdômen e das asas, uma vez que a MdF sul-americana possui características únicas nesses locais, permitindo sua identificação e classificação como demonstrado na literatura (Leonardo et al., 2017; Pramanik et al., 2021). Para captura das imagens, as condições de testes em ambiente controlado foram semelhantes às condições naturais, a fim de evitar diferenças do padrão comportamental dos insetos criados em cativeiro ao entrarem na armadilha.

Nesse contexto, os testes de captura das moscas-alvo foram realizados em dois ambientes, como ilustra a Figura 2. Os primeiros testes foram realizados no laboratório experimental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira (Paraná), em um cativeiro específico desenvolvido em laboratório para analisar o comportamento dos sensores e demais sistemas eletrônicos, além da efetividade de identificação de moscas em fase adulta (*Anastrepha fraterculus*) no interior da armadilha. As moscas da espécie *Anastrepha fraterculus* foram cultivadas em cativeiro para essa fase dos experimentos. Outras três armadilhas foram testadas em campo aberto e divididas em três áreas de cultivo de maçã (área 1 = 28° 30' 53" S, 50° 53' 03" W; área 2 = 28° 30' 54" S, 50° 53' 00" W e área 3 = 28° 30' 56" S, 50° 52' 56" W) em colaboração com a Embrapa Uva e Vinho no município de Vacaria, RS, Brasil.

As armadilhas foram distribuídas estrategicamente dentro da propriedade e fixadas com o auxílio de estruturas metálicas mantendo a armadilha eletrônica a aproximadamente 1,5 m em relação ao solo (Figura 3b), de modo a não interferir no manejo do pomar. Cada armadilha foi carregada com proteína

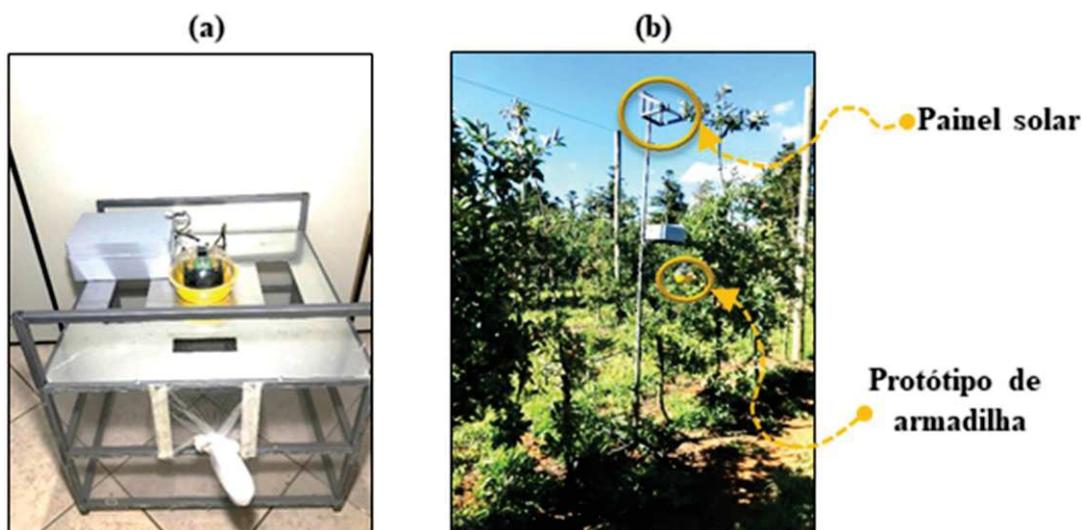


Figura 2. Estruturas de teste. (a) Ambiente de teste controlado e (b) Estrutura instalada no campo experimental.

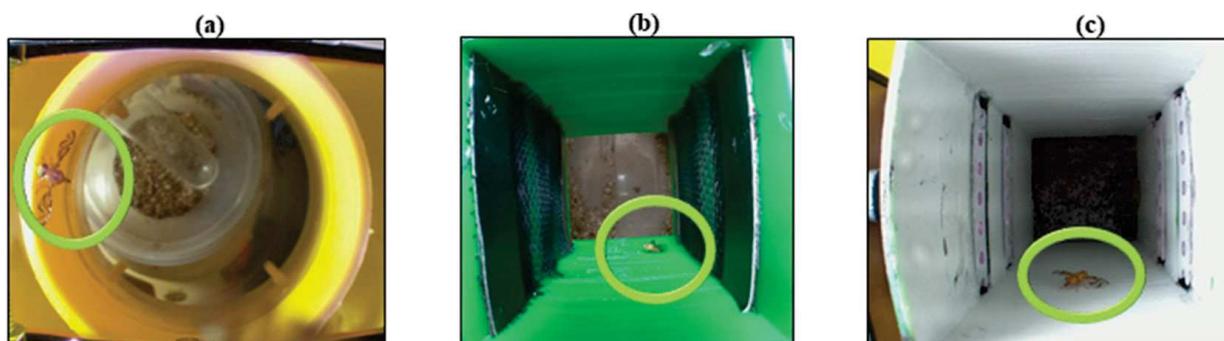


Figura 3. Caminho referente à entrada da espécie-alvo na armadilha. (a) interior da armadilha em amarelo, (b) interior da armadilha otimizada em verde, (c) interior da armadilha otimizada em branco.

hidrolisada (aproximadamente 150 ml), como atrativo usado comumente na captura da MdF. Essas armadilhas foram verificadas semanalmente durante os experimentos em campo.

Visando suportar um grande número de nós sensores a um menor custo, baixo consumo energético e considerando distâncias relativamente curtas, as armadilhas automatizadas foram equipadas com módulos de transmissão ZigBee. Esses módulos foram dispostos por meio da topologia em malha. Cada nó sensor pode se comunicar com outros nós sensores, desde que estejam dentro do alcance da rede. De acordo com a localidade das armadilhas em campo, elas foram configuradas como roteadores ou como dispositivos finais.

Os roteadores, além de enviar os dados de monitoramento e captura, desempenham também o papel de ponte entre as armadilhas. Contudo, o coordenador, junto com um Raspberry Pi 3, recebe os dados enviados pelos dispositivos finais e roteadores realizam a persistência destes em um ambiente de nuvem, previamente configurado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes iniciais (ambiente controlado) para as modificações da estrutura referente à armadilha eletrônica mostraram ser um tema complexo em armadilhas tipo McPhail, devido ao espaço interno da estrutura original. Por outro lado, essas modificações na estrutura poderiam afetar a atratividade referente à espécie-alvo em campo. Doitsidis et al. (2017) compararam diferentes tipos de armadilhas McPhail (vidro, plástico e automatizada) para a captura de mosca-da-azeitona (*Bactrocera oleae*), e observaram que o número médio de adultos capturados por armadilha e por semana foi significativamente maior para a armadilha McPhail de plástico de cor amarela, quando comparada com as armadilhas de vidro e a auto-

matizada, que entre si não apresentaram diferenças significativas. Dessa forma, a cor da armadilha torna-se um importante fator para atrair os insetos, pois algumas espécies são atraídas por comprimentos de onda específicos. Embora algumas modificações tenham sido projetadas para não afetar o dimensionamento da armadilha original, o caminho de entrada das moscas pode ter causado alterações na liberação do odor do atrativo alimentar (proteína hidrolisada 5,5%) para o ambiente externo.

Para identificar a presença das moscas no interior da armadilha, avaliou-se em laboratório a captura de imagens em um ambiente controlado. Em todos os casos em que a mosca efetivamente interrompe o feixe de infravermelho, uma imagem da espécie invasora foi gerada, permitindo a fácil identificação visual pela coloração das asas. Experimentos confirmaram que é possível obter resultados com alta precisão de classificação em tarefas de identificação de MdF fazendo uso de imagens das asas e acúleos (Faria et al., 2014). Observou-se que o feixe de luz que flui dos diodos emissores para os receptores não interferiu no hábito das moscas. Contudo, observou-se uma mobilidade diferente dos insetos após um exame cuidadoso no interior do cativeiro, identificando uma baixa atração pela armadilha que poderia ser resultante da luz do ambiente de testes ou da temperatura do ambiente (18-22 °C). De acordo com estudo anterior, o efeito de temperaturas baixas e o impacto do ambiente reduzem a abundância de insetos capturados por causa da menor atividade de moscas (Araujo et al., 2019).

O posicionamento dos sensores e o ajuste do caminho de entrada das moscas foram otimizados, promovendo testes com diferentes cores de acesso à entrada da mosca, a fim de melhorar a resolução das imagens e atratividade (Figura 3). A armadilha inicial (Figura 3a) com o caminho amarelo se mostrou eficaz quanto à identificação da mosca por meio da imagem de captura, porém os sensores optoeletrônicos ficavam

fixados na parte superior da entrada da armadilha, e em alguns casos não detectavam o momento da entrada da mosca na armadilha e estavam mais suscetíveis a sofrer interferência da luz ambiente. Nesse sentido, o caminho de acesso ao interior da armadilha (Figura 3b) foi modificado utilizando a cor verde e ajustando os sensores no caminho de entrada, resultando em uma detecção mais sensível da mobilidade e contagem de insetos. No entanto, a identificação das moscas com relação a outras espécies de insetos resultou ser mais difícil em razão da menor visibilidade (baixa resolução). Por esse motivo, na cor branca (Figura 3c) obtiveram-se melhores resultados com a detecção visual mais sensível em todas as posições da entrada da armadilha. Dessa forma, as imagens capturadas possuíam boa visibilidade e a contagem do número de mosca se tornou mais eficiente que a primeira versão do protótipo (armadilha amarela, Figura 3a).

Analisando a precisão da contagem da espécie invasora (mosca-das-frutas), usando o tubo de captura na cor branca, foi observada grande quantidade de dados falso positivos. Eles se originam pela mobilidade das moscas no interior do tubo de entrada percorrendo diversos caminhos sobre o sensor de infravermelho e causando ativação deste. Conseqüentemente, é gerada uma alta quantidade de dados coletados no sistema, o que implica que uma única mosca pode causar várias detecções.

Esse mesmo problema foi relatado por Jiang et al. (2008) no desenvolvimento de uma armadilha automática para monitorar a mosca-da-fruta oriental (*Bactrocera dorsalis*). Esses autores solucionaram esse problema reduzindo as dimensões do caminho de entrada das moscas no interior da armadilha, re-

sultando em um aumento de precisão de 56,5% para 80,2%; porém, esse sistema não permitia a captura de imagens. Nesse sentido, para reduzir a quantidade de dados falso positivos, fez-se um pequeno ajuste na posição dos sensores dentro do tubo, para, além de maximizar a precisão da quantidade de moscas capturadas, permitir analisar as imagens para a verificação da presença e a identificação da espécie-alvo. Os testes em ambiente controlado mostraram inúmeras falhas que foram corrigidas na reformulação estrutural da AE e permitiram otimizar o sistema baseado em imagens para captura, identificação e contagem de diversas pragas invasoras de forma remota em tempo real.

O protótipo otimizado com os dispositivos de monitoramento para a MdF dentro do caminho de entrada, bem como a acomodação de todo o sistema eletrônico, é mostrado na Figura 4. Por meio dos testes de laboratório, foi possível compactar o protótipo inicial (Figura 4a) em um sistema mais robusto (Figura 4b), capaz de suportar adversidades ambientais e acidentes de manuseio no campo. Nesse protótipo, todo o sistema de eletrônica embarcada (arduino, PCI e Raspberry) foi fixada ao lado da fonte de energia (baterias), e esse sistema fechado armazena todas as informações geradas pela armadilha eletrônica. Por isso, nos testes de laboratório a parte de abastecimento de energia e armazenamento de informações era instalada próxima ao protótipo.

Nos testes de campo, três protótipos de armadilhas eletrônicas foram construídos em laboratório e montados estrategicamente dentro de um pomar de maçã, localizado no município de Vacaria/RS, para testar o desempenho da armadilha em condições reais de trabalho de campo.

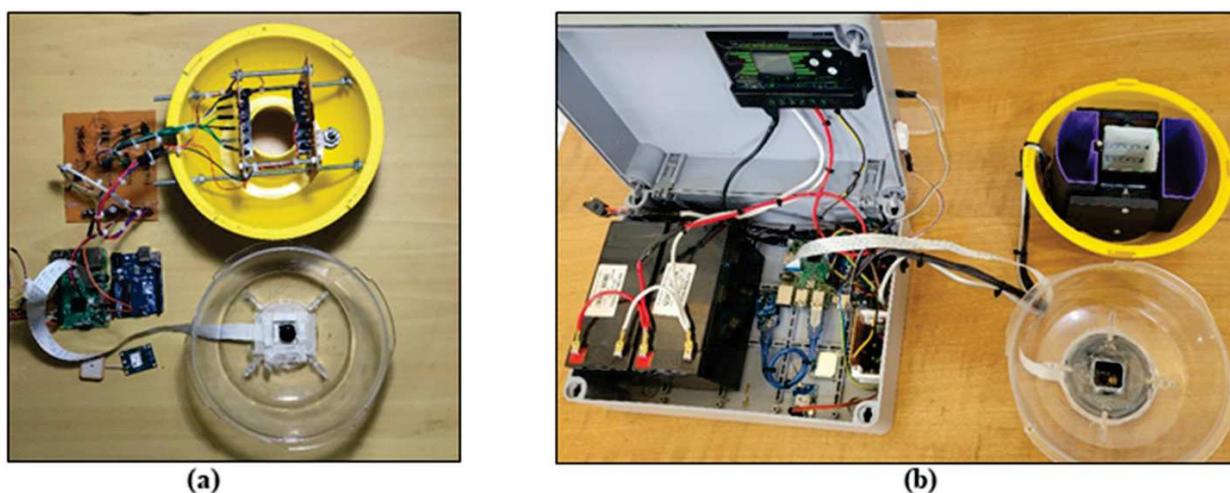


Figura 4. Comparação de armadilhas eletrônicas. (a) protótipo inicial e (b) protótipo otimizado.

Para verificar a eficiência da captura e contagem de MdF, foram feitas diariamente verificações manuais. Os dados de campo e a captura de moscas foram transferidos na forma de histórico para um banco de dados alocado na propriedade onde ocorreram os experimentos. Todos os sistemas foram avaliados em campo nos meses de dezembro de 2020 e julho-outubro de 2021.

Cada armadilha instalada registrou as informações de geolocalização, temperatura e umidade do ar, luz ultravioleta e o número de espécies-alvo capturadas. Inicialmente, o comportamento de uma única armadilha foi avaliada, sendo esta instalada em um pomar de maçãs em dezembro de 2020, relacionando os dados de temperatura do ar e captura de moscas em um período de 24h. Inicialmente, identificou-se baixa ou nenhuma atividade das moscas nas primeiras horas do dia; contudo, com o aumento da temperatura, observou-se uma maior captura e identificação da MdF sul-americana. Nesse sentido, essa primeira análise indicou que a melhor faixa de captura ocorreu próximo às 6h00, estendendo-se até às 18h00. Com isso, foi possível relacionar a captura de moscas com a variação de temperatura do ambiente externo. Isso sugere que o protótipo desenvolvido permite obter informações em tempo real de modo simples e econômico, mostrando que em temperaturas do ar acima de 16 °C, a atividade das moscas nos pomares pode ser identificada.

Durante essa primeira análise, identificaram-se as melhores condições para a instalação das armadilhas, uma vez que essa espécie (*Anastrepha fraterculus*) possui maior atividade diurna em uma determinada faixa de temperatura do ar. Recentemente foi demonstrado que uma alta taxa metabólica leva ao aumento do envelhecimento em todas as linhagens de MdF, e a temperatura do ar tem um efeito significativo na fecundidade e no peso corporal (Moloñ et al., 2020). Huang et al. (2020) mostraram que a taxa de sobrevivência de *Bactrocera tau* diminuiu gradualmente em todos os estágios após exposição a altas temperaturas do ar (acima de 42 °C) de curto prazo. Essas observações relatadas por outros grupos de pesquisa poderiam explicar a maior atividade das moscas em condições mais elevadas de temperatura do ar. Contudo, apesar da expectativa de que em temperaturas maiores do que as observadas no experimento de 24h fossem obtidas maiores capturas de moscas nos pomares investigados, isso não foi observado.

O posicionamento do protótipo entre as árvores de maçã foi suspenso por um tripé evitando a presença de predadores (formigas, aranhas, etc.) que poderiam adentrar nas armadilhas e interferir na contagem da

espécie-alvo. O posicionamento das armadilhas fixadas entre as culturas ou em hastes de metal não afeta o desempenho referente à captura de moscas (Kaspi; Yuval, 1999). No entanto, as AE ficaram expostas diretamente ao sol, o que proporcionou interferências nas imagens observadas principalmente durante 11h30min e 13h00, como observado inicialmente em laboratório. Foi necessário reforçar o recobrimento da parte superior dos protótipos, resultando em maior confiabilidade para o monitoramento e captura de imagens. Estudos com períodos mais extensos no futuro devem avaliar o desempenho da armadilha otimizada para o manejo integrado de pragas no cultivo de maçã.

Experimentos preliminares usando o sistema (armadilhas eletrônicas) permite o compartilhamento de dados do ambiente (campo experimental) em forma de texto (histórico) por meio da transmissão via radiofrequência, transformando os dados em formato “.csv” para JSON, que são armazenados no InfluxDB (banco de dados de séries temporais), enquanto as imagens (fotos das moscas capturadas) são armazenadas *in loco* em um microSD. A transmissão do arquivo “.csv” já é suficiente para a geração de mapas de movimentação das moscas no pomar, permitindo o monitoramento da praga no espaço do pomar em tempo real (Speranza et al., 2022).

Evidenciou-se que o processo de transferência de dados é eficiente, uma vez que o Raspberry Pi está ligado ao coordenador da rede ZigBee por meio do protocolo HTTP (HyperText Transfer Protocol), formando uma conexão estável e segura com o servidor InfluxDB. Logo, a comunicação entre as armadilhas e o banco de dados permite reduzir o custo de mão de obra referente à verificação de captura de moscas no campo. Além disso, o treinamento da equipe para utilização do sistema também demanda custo baixo, em razão da simplicidade e nível de automatização do equipamento.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa foram desenvolvidas armadilhas eletrônicas para o monitoramento remoto da mosca-das-frutas por captura de imagens, avaliadas em condições de laboratório e em um campo experimental sob condições reais de trabalho. Os resultados mostraram que as armadilhas eletrônicas desenvolvidas possuem eficiência na detecção da mosca-das-frutas sul-americana e outras populações de insetos, bem como a coleta de informações de campo em tempo real. Os testes em campo experimental mostraram que o sistema desenvolvido pode atuar de forma au-

tônoma com o auxílio do sistema de painéis solares gerando um baixo consumo de energia, o que resulta em menores processos de manutenção durante a coleta de dados. As imagens capturadas possuem boa resolução, permitindo identificar a mosca-das-frutas sul-americana e outras espécies de insetos invasores.

Identificou-se no protótipo que os insetos-alvo que entram na armadilha não são mortos imediatamente e podem interferir no sinal do infravermelho, causando sinais falso positivos. Nesse mesmo sentido, observou-se a dificuldade de realizar a comunicação de radiofrequência a longas distâncias, uma vez que as armadilhas instaladas entre os pomares ficam suscetível à interferência do ambiente quando instaladas com distâncias acima de 50 m, sendo necessário o uso de tecnologias mais eficientes como LoRa/LoRaWAN. Contudo, a proposta de armadilha eletrônica após as modificações necessárias permitirá a substituição da armadilha McPhail comercial, otimizando o monitoramento e reduzindo custos de manejo para diversas culturas frutíferas que atualmente utilizam a armadilha convencional. Trabalhos futuros dedicados no aprimoramento do protótipo automatizado tendem a investigar a eficiência da atratividade e compará-lo com as armadilhas comerciais, uma vez que não fica evidente o impacto das modificações da estrutura da armadilha no microclima. Testes de maior tempo em campo deverão mostrar resultados mais precisos e promissores na sustentabilidade econômica do sistema, bem como a transmissão de imagens terá de ser otimizada, resultando em uma contagem de moscas mais eficiente, para reduzir a quantidade de informações armazenadas no servidor.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, ao Laboratório de Agrotecnologias - AgriLab, da UTFPR - Medianeira, à Fundação Araucária, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Fundação Parque Tecnológico de Itaipu, e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

ABELI, P. J.; FANNING, P. D.; ISAACS, R.; BEAUDRY, R. M. Blueberry fruit quality and control of blueberry maggot (*Rhagoletis mendax* Curran) larvae after fumigation with sulfur dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, v.179, p.111568, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111568>.

- ARAUJO, E. S.; MONTEIRO, L. B.; MONTEIRO, R. S.; NISHIMURA, G.; FRANCK, P.; LAVIGNE, C. Impact of native forest remnants and wild host plants on the abundance of the South American fruit fly, *Anastrepha fraterculus* in Brazilian apple orchards. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 275, p. 93-99, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.02.007>.
- BENOS, L.; TAGARAKIS, A. C.; DOLIAS, G.; BERRUTO, R.; KATERIS, D.; BOCHTIS, D. Machine Learning in Agriculture: A Comprehensive Updated Review. **Sensors**, v. 21, p. 3758, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21113758>.
- DEVESCOVI, F.; HURTADO, J.; TAYLOR, P. W. Mating-induced changes in responses of female Queensland fruit fly to male pheromones and fruit: A mechanism for mating-induced sexual inhibition. **Journal of Insect Physiology**, v. 129, p. 104195, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinphys.2021.104195>.
- DIAS, N. P.; ZOTTI, M. J.; MONTOYA, P.; CARVALHO, I. R.; NAVA, D. E. Fruit fly management research: A systematic review of monitoring and control tactics in the world. **Crop Protection**, p. 112, v. 187-200, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.019>.
- DOITSIDIS, L.; FOUSKITAKIS, G. N.; VARIKOU, K. N.; RIGAKIS, I. I.; CHATZICHRISTOFIS, S. A.; PAPAFILEPPAKI, A. K.; BIROURAKI, A. E. Remote monitoring of the *Bactrocera oleae* (Gmelin) (Diptera: Tephritidae) population using an automated McPhail trap. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 137, p. 69-78, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.03.014>.
- FARIA, F. A.; PERRE, P.; ZUCCHI, R. A.; JORGE, L. R.; LEWINSOHN, T. M.; ROCHA, A.; TORRES, R. D. S. Automatic identification of fruit flies (Diptera: Tephritidae). **Journal of Visual Communication and Image Representation**, v. 25, p. 1516-1527, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2014.06.014>.
- GOLDSHTEIN, E.; COHEN, Y.; HETZRONI, A.; GAZIT, Y.; TIMAR, D.; ROSENFELD, L.; GRINSHPON, Y.; HOFFMAN, A.; MIZRACH, A. Development of an automatic monitoring trap for Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) to optimize control applications frequency. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 139, p. 115-125, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.022>.
- HOLGUIN, G. A.; LEHMAN, B. L.; HULL, L. A.; JONES, V. P.; JONES, V. P.; PARK, J. Electronic Traps for Automated Monitoring of Insect Populations. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 43, p. 49-54, 2010. DOI: <https://doi.org/10.3182/20101206-3-JP-3009.00008>.
- HUANG, Y.; GU, X.; PENG, X.; TAO, M.; CHEN, G.; ZHANG, X. Effect of short-term high-temperatures on the growth, development and reproduction in the fruit fly, *Bactrocera tau* (Diptera: Tephritidae). **Scientific Reports**, v. 10, p. 6418, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63502-w>.
- JIANG, J. A.; TSENG, C. L.; LU, F. M.; YANG, E. C.; WU, Z. S.; CHEN, C. P.; LIN, S. H.; LIN, K. C.; LIAO, C. S. A GSM-based remote wireless automatic monitoring system

- for field information: A case study for ecological monitoring of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel). **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 62, p. 243-259, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.01.005>.
- KASPI, R.; YUVAL, B. Mediterranean Fruit Fly leks: factors affecting male location. **Functional Ecology**, v. 13, p. 539-545, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1999.00344.x>.
- LEONARDO, M. M.; AVILA, S.; ZUCCHI, R. A.; FARIA, F. A. Mid-level Image Representation for Fruit Fly Identification (Diptera: Tephritidae). **IEEE 13th International Conference on e-Science**, p. 202-209, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/eScience.2017.33>.
- MOŁOŃ, M.; DAMPC, J.; KULA-MAXIMENKO, M.; ZEBROWSKI, J.; MOŁOŃ, A.; DOBLER, R.; DURAK, R.; SKOCZOWSKI, A. Effects of Temperature on Lifespan of *Drosophila melanogaster* from Different Genetic Backgrounds: Links between Metabolic Rate and Longevity. **Insects**, v.11, p. 470, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11080470>.
- MUTAMISWA, R.; NYAMUKONDIWA, C.; CHIKOWORE, G.; CHIDAWANYIKA, F. Overview of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) in Africa: From invasion, bio-ecology to sustainable management. **Crop Protection**, v. 141, p. 105492, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105492>.
- PRAMANIK, S.; DEBNATH, P.; PANDIT, M. K.; GUPTA, A. K.; NASKAR, M. K. Fruit fly species diversity, population dynamics and infestation rate during fruiting season of snake gourd. **South African Journal of Botany**, v.145, p. 303-312, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.09.021>.
- PRETI, M.; VERHEGGEN, F.; ANGELI, S. Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths and limitations. **Journal of Pest Science**, v. 94, p. 203-217, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01309-4>.
- RASSATI, D.; FACCOLI, M.; CHINELLATO, F.; HARDWICK, S.; SUCKLING, D. M.; BATTISTI, A. Web-based automatic traps for early detection of alien wood-boring beetles. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 160, p. 91-95, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/eea.12453>.
- RIGAKIS, I. I.; VARIKOU, K. N.; NIKOLAKAKIS, A. E.; SKARAKIS, Z. D.; TATLAS, N. A.; POTAMITIS, I. G. The e-funnel trap: Automatic monitoring of lepidoptera; a case study of tomato leaf miner. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 185, p. 106154, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106154>.
- SPERANZA, E. A.; GREGO, C. R.; GEBLER, L. Analysis of pest incidence on apple trees validated by unsupervised machine learning algorithms. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 30, p. 63-74, 2022. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v30i1.12919>.
- STUPP, P.; JUNIOR, R. M.; NORA CARDOSO, T. D.; PADILHA, A. C.; HOFFER, A.; BERNARDI, D.; BOTTON, M. Mass trapping is a viable alternative to insecticides for management of *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) in apple orchards in Brazil. **Crop Protection**, v. 139, p. 105391, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105391>.
- TZOUNIS, A.; KATSOULAS, N.; BARTZANAS, T.; KITTAS, C. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. **Biosystems Engineering**, v. 164, p. 31-48, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>.
- ZHENG, F.; LI, T.; XU, H.; HU, P.; WANG, R.; ZHANG, Z.; JIA, J. Long-lasting repellent activities of eco-friendly polyurethane system for controlled citral against melon fly. **Crop Protection**, v. 148, p. 105745, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105745>.