

### DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO TÉCNICA PRELIMINAR DE UM DISPOSITIVO PROGRAMÁVEL PARA MANEJO ALIMENTAR DE PEIXES

**Tiago Dominguez Rodriguez<sup>1</sup>;**

<sup>1</sup>Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.

**Nayanne Sant Clair Cardoso da Silva<sup>2</sup>;**

<sup>2</sup>Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.

**João Marcos Ferrari Rubio<sup>3</sup>;**

<sup>3</sup>Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.

**Marcela Rezende Sant' Ana Tôrres<sup>4</sup>;**

<sup>4</sup>Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.

**Adriano Rogério Bruno Tech<sup>5</sup>.**

<sup>5</sup>Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo.

**RESUMO:** A automação do manejo alimentar pode contribuir para aumentar a regularidade do fornecimento de ração e reduzir a dependência da intervenção contínua do operador em sistemas aquícolas. Nesse contexto, o presente trabalho desenvolveu e realizou uma avaliação técnica preliminar de um alimentador automático para peixes destinado a sistemas de aquaponia, utilizando microcontrolador ESP32, interface web e componentes produzidos por fabricação digital. O sistema foi programado para calcular a quantidade de ração a partir do peso médio dos peixes e da porcentagem de alimentação definida pelo usuário, permitindo configurar remotamente os horários e a frequência de arração. A avaliação incluiu testes de bancada, calibração preliminar do mecanismo de liberação da ração e operação em condições reais em um sistema de aquaponia. O protótipo demonstrou viabilidade funcional para o fornecimento programado de alimento, enquanto os testes em ambiente real permitiram identificar limitações relacionadas à estabilidade estrutural e às interrupções no fornecimento de energia. Os resultados caracterizam uma avaliação técnica preliminar e indicam a necessidade de ensaios adicionais para determinar a precisão e a repetibilidade da dosagem, além do aprimoramento da estrutura e da implementação de mecanismos de contingência energética e armazenamento das configurações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aquaponia. Automação. Alimentador automático.

## DEVELOPMENT AND PRELIMINARY TECHNICAL EVALUATION OF A PROGRAMMABLE DEVICE FOR FISH FEEDING MANAGEMENT

**ABSTRACT:** Automation of feeding management can contribute to improving feed delivery regularity and reducing dependence on continuous operator intervention in aquaculture systems. In this context, this study developed and conducted a preliminary technical evaluation of an automatic fish feeder designed for aquaponic systems, using an ESP32 microcontroller, a web interface, and digitally fabricated components. The system was programmed to calculate the amount of feed based on the average fish weight and the feeding percentage defined by the user, allowing remote configuration of feeding schedules and frequency. The evaluation included bench tests, preliminary calibration of the feed-release mechanism, and operation under real conditions in an aquaponic system. The prototype demonstrated functional feasibility for programmed feed delivery, while testing under real operating conditions revealed limitations related to structural stability and power supply interruptions. The results characterize a preliminary technical evaluation and indicate the need for additional tests to determine dosing accuracy and repeatability, as well as structural improvements and the implementation of backup power mechanisms and configuration storage.

**KEYWORDS:** Aquaponics. Automation. Automatic fish feeder.

### INTRODUÇÃO

A aquicultura tem apresentado expressivo desenvolvimento nas últimas décadas e desempenha papel relevante na produção de alimentos. No Brasil, a atividade possui elevado potencial produtivo, embora sua expansão sustentável ainda dependa do aperfeiçoamento das tecnologias, do manejo e da eficiência dos sistemas de produção (Valenti *et al.*, 2021). Em sistemas intensivos de piscicultura, o uso de rações e as elevadas densidades de estocagem podem aumentar a geração de resíduos e a liberação de nutrientes, tornando essenciais o manejo alimentar e o controle da qualidade da água (Cyrino *et al.*, 2010).

A aquaponia integra a criação de organismos aquáticos ao cultivo hidropônico de vegetais em sistemas com recirculação de água (Dutta *et al.*, 2025; Love *et al.*, 2015; Sátiro *et al.*, 2018). Nesse processo, compostos nitrogenados provenientes dos peixes e da matéria orgânica são convertidos pela atividade microbiana em formas assimiláveis pelas plantas, contribuindo para a qualidade da água e a redução de efluentes (Sátiro *et al.*, 2018). Essa integração favorece o uso eficiente da água e dos nutrientes, conferindo potencial sustentável ao sistema.

O manejo alimentar é fundamental para o equilíbrio dos sistemas aquapônicos, pois a quantidade e a composição da ração influenciam o desempenho dos peixes, a produção de resíduos e a qualidade da água (Cyrino *et al.*, 2010). O fornecimento inadequado pode causar subalimentação ou excesso de alimento, tornando importantes o controle da quantidade, frequência e horários de arração. Nesse contexto, a automação pode

aumentar a regularidade do manejo, reduzir a dependência do operador e ampliar o controle dos parâmetros de alimentação (Dutta *et al.*, 2025).

A aplicação de tecnologias de automação e comunicação na aquicultura permite integrar dispositivos eletrônicos, interfaces digitais e mecanismos de controle às operações de manejo, favorecendo o acompanhamento e a execução programada das atividades produtivas (Biazi; Marques, 2023). Microcontroladores e redes de comunicação podem ser empregados para transmitir informações e controlar equipamentos de forma remota ou automatizada (Vo *et al.*, 2021). Nesse contexto, a utilização do microcontrolador ESP32 associada a uma interface web e à fabricação digital possibilita o desenvolvimento de alimentadores programáveis e personalizáveis, capazes de controlar horários, frequência e quantidade de ração. Essa abordagem apresenta potencial para reduzir a dependência da presença contínua do operador e ampliar a aplicação da automação em sistemas aquícolas de diferentes escalas.

## OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e realizar uma avaliação técnica preliminar de um alimentador automático para peixes destinado a sistemas de aquaponia, utilizando o microcontrolador ESP32, interface web e componentes produzidos por fabricação digital.

Como objetivos específicos, buscou-se:

- Desenvolver e integrar os componentes mecânicos, eletrônicos e computacionais do alimentador;
- Realizar a calibração preliminar do mecanismo de liberação da ração;
- Avaliar o funcionamento do protótipo em bancada e em condições reais de operação;
- Identificar limitações estruturais e operacionais para o aprimoramento do equipamento.

## METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema e do alimentador automático foi realizado no Laboratório de Tecnologia e Sistemas de Informação (LTSI), vinculado à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (FZEA/USP).

O projeto mecânico do alimentador foi desenvolvido no software Autodesk Fusion 360, no qual foram modeladas a estrutura principal, o suporte do servomotor, a comporta de liberação da ração e a tampa de proteção. As peças foram projetadas com foco na modularidade, facilidade de montagem e adaptação a diferentes sistemas de aquaponia. Posteriormente, os modelos tridimensionais foram exportados em formato *.stl*, processados no software Ultimaker Cura e convertidos para *.gcode* para fabricação por impressão 3D na impressora GTMax3D A1V2, utilizando filamento ABS, selecionado em função de sua resistência mecânica e térmica.

O sistema eletrônico foi desenvolvido utilizando um microcontrolador ESP32, responsável pelo gerenciamento das funções do alimentador e pela comunicação via Wi-Fi, possibilitando a configuração e o monitoramento do sistema por meio de uma interface web embarcada (Espressif Systems, 2025). O mecanismo de liberação da ração foi acionado por um servomotor MG995, alimentado por uma fonte de 5 V, valor que se encontra dentro da faixa de tensão de operação recomendada para o dispositivo (TowerPro, 2019).

A lógica de controle foi implementada na plataforma Arduino IDE utilizando linguagem C/C++ (Banzi; Shiloh, 2022). O sistema foi programado para calcular a quantidade de ração com base no peso médio dos peixes e na porcentagem de alimentação definida pelo usuário, além de permitir o cadastro de espécies e a configuração dos horários e da frequência de arraçoamento. Essas funções são gerenciadas remotamente por meio de uma interface web hospedada no ESP32 e acessível, via rede local, por computadores ou dispositivos móveis.

A avaliação técnica preliminar do protótipo foi realizada por meio de testes de bancada e em condições reais de operação em um sistema de aquaponia. Em bancada, foram verificados o acionamento do servomotor, a comunicação entre a interface web e o controlador e o funcionamento do mecanismo de liberação da ração. Também foi realizada uma calibração preliminar para relacionar o tempo de acionamento do servomotor à quantidade de alimento liberada. Posteriormente, o equipamento foi instalado no sistema de aquaponia, onde foram observados seu funcionamento, estabilidade estrutural e limitações operacionais sob condições ambientais reais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema desenvolvido possibilitou a automatização do fornecimento de ração por meio de uma interface web hospedada no microcontrolador ESP32 e acessível por navegador em dispositivos conectados à rede local (Figura 1). A interface permitiu cadastrar a espécie e a quantidade de peixes, informar o peso médio do lote e a porcentagem de alimentação, programar os horários e a frequência diária de arraçoamento e realizar o acionamento manual do mecanismo quando necessário. A partir das informações inseridas pelo usuário, o sistema calculou a quantidade prevista de alimento e comandou o servomotor responsável pela abertura do mecanismo de liberação.

Nesse contexto, o protótipo desenvolvido caracteriza-se como uma solução de automação programável, capaz de controlar parâmetros do manejo alimentar e reduzir a dependência da presença contínua do operador. Ressalta-se, entretanto, que o sistema não realiza tomada autônoma de decisão, uma vez que os parâmetros de alimentação são previamente definidos pelo usuário.

**Figura 1:** Interface web desenvolvida para configuração e gerenciamento remoto do alimentador automático.

**Sistema de Alimentação Automática de Peixes**  
Gerencie peixes e programe os horários de alimentação

**Cadastrar Novo Peixe**

Nome:

Peso (g):

% Comida (%):

Qtd. Peixes:

Horário (HH:MM):

**+ Cadastrar**

**Adicionar Horário**

Nome do Peixe:

Novo Horário (HH:MM:SS):

**+ Adicionar**

**Excluir Peixe**

Nome do Peixe:

**Excluir**

**Lista de Peixes**

| Nome    | Peso (g) | % Comida | Qtd. Peixes | Total (g) | Tempo Servo (s) | Horários                     | Ações |
|---------|----------|----------|-------------|-----------|-----------------|------------------------------|-------|
| Tilápia | 250,0    | 2,5      | 10          | 62,5      | 125             | 08:00:00, 14:00:00, 18:00:00 |       |
| Lambari | 40,0     | 1,0      | 500         | 200       | 400             | 07:30:00, 17:30:00           |       |

Horário atual: 16:08:13

**Fonte:** Autoria Própria, 2025.

A modelagem tridimensional dos componentes mecânicos resultou em um projeto digital composto pela estrutura principal do alimentador, pelo suporte do servomotor, pela comporta de liberação da ração e pela tampa de proteção (Figura 2). A etapa de modelagem permitiu avaliar previamente a disposição dos componentes e a compatibilidade entre os encaixes, além de facilitar alterações dimensionais antes da fabricação. Esse procedimento contribuiu para o desenvolvimento modular do equipamento e reduziu a necessidade de modificações diretamente nas peças físicas.

Após a modelagem, os componentes foram fabricados por impressão 3D com filamento ABS e utilizados na montagem do protótipo (Figura 3), apresentando compatibilidade dimensional adequada entre a estrutura mecânica, o reservatório de ração e o servomotor. A fabricação digital possibilitou a produção e adaptação de componentes durante o desenvolvimento, aspecto relevante diante das diferentes condições dos sistemas aquícolas. Valenti *et al.* (2021) destacam que inovações tecnológicas simples podem contribuir para a produtividade e a sustentabilidade da aquicultura brasileira. Nesse contexto, a fabricação digital apresenta potencial para o desenvolvimento de equipamentos adaptáveis, embora a viabilidade econômica do protótipo ainda dependa da avaliação dos custos de fabricação, montagem, operação e manutenção.

**Figura 2:** Projeto tridimensional dos componentes do alimentador automático desenvolvido no software Autodesk Fusion 360.



**Fonte:** Autoria Própria, 2025.

**Figura 3:** Componentes do alimentador automático produzidos por impressão 3D e utilizados na montagem do protótipo.



**Fonte:** Autoria Própria, 2025.

Nos testes iniciais de bancada, verificaram-se o acionamento do servomotor, a comunicação entre a interface web e o controlador e o funcionamento do mecanismo de liberação da ração. Para a calibração preliminar, utilizou-se ração com granulometria de 2 mm, destinada à alimentação de lambaris (*Astyanax altiparanae*), espécie adotada como modelo experimental. O acionamento do servomotor durante 10 segundos resultou na liberação de aproximadamente 5 g de ração, estabelecendo uma referência inicial entre o tempo de abertura do mecanismo e a massa de alimento fornecida.

Esse resultado demonstrou a capacidade funcional do mecanismo para liberar uma quantidade programada de alimento. Entretanto, a relação observada deve ser considerada uma referência operacional preliminar, não sendo suficiente para determinar a precisão e a repetibilidade do sistema. Fatores como granulometria, densidade e formato dos pellets,

nível de preenchimento do reservatório, umidade e geometria da abertura podem influenciar o fluxo da ração. Dessa forma, a caracterização quantitativa do mecanismo requer ensaios adicionais, com maior número de repetições, diferentes tempos de acionamento e medidas de dispersão, como desvio-padrão e coeficiente de variação.

A calibração do mecanismo é relevante, pois a quantidade de ração fornecida influencia tanto o desempenho dos peixes quanto a disponibilidade de nutrientes no sistema aquapônico (Sátiro *et al.*, 2018). O fornecimento excessivo pode aumentar o acúmulo de matéria orgânica e nutrientes na água, comprometendo sua qualidade (Cyrino *et al.*, 2010). Assim, o controle programado da alimentação constitui uma característica importante do protótipo, embora seus efeitos sobre a redução de desperdícios e a qualidade da água ainda necessitem de avaliação.

Após os testes de bancada, o protótipo foi instalado em um sistema de aquaponia, onde permaneceu em funcionamento por período superior a 30 dias. A avaliação em condições reais permitiu identificar limitações que não haviam sido observadas em ambiente laboratorial. A estrutura inicialmente produzida apresentou instabilidade diante da ação do vento e da exposição às intempéries, ocasionando deslocamentos e comprometendo a fixação do equipamento (Figura 4).

**Figura 4:** Protótipo instalado no sistema de aquaponia evidenciando a instabilidade estrutural durante os testes em ambiente real.



**Fonte:** Autoria Própria, 2025.

A partir dessa observação, parte dos componentes inicialmente produzidos por impressão 3D foi substituída por estruturas confeccionadas em PVC reciclado, resultando em uma configuração mais robusta e com maior estabilidade no local de instalação (Figura 5). Essa modificação evidenciou que o desempenho do alimentador não depende apenas do funcionamento dos componentes eletrônicos e computacionais, mas também da adequação mecânica e da resistência dos materiais às condições ambientais de operação.

A seleção dos materiais deve considerar condições ambientais como umidade, radiação solar, variações de temperatura e vento, fatores relevantes para o desempenho de sistemas automatizados (Dutta *et al.*, 2025). Nesse contexto, a impressão 3D mostrou-se adequada à prototipagem, enquanto o PVC reciclado apresentou maior estabilidade nas condições observadas, indicando a possibilidade de uso complementar desses materiais conforme a função estrutural dos componentes.

**Figura 5:** Versão otimizada do protótipo após a substituição de componentes por estruturas em PVC reciclado.



**Fonte:** Autoria Própria, 2025.

Durante a operação em condições reais, foi identificada uma limitação relacionada às interrupções no fornecimento de energia elétrica. Após o restabelecimento da energia e a reinicialização do controlador, ocorria uma nova liberação de ração, independentemente do horário previamente programado, o que poderia resultar no fornecimento de alimento em quantidade superior à prevista (Figura 6). Essa ocorrência evidenciou a necessidade de considerar, além do funcionamento mecânico do alimentador, o comportamento do sistema durante eventos de reinicialização.

Para corrigir essa falha, a lógica de programação foi modificada para que o sistema verificasse o horário atual antes de executar o comando de alimentação, evitando o acionamento indevido após a reinicialização. Entretanto, quando o fornecimento de energia era restabelecido após o horário programado, a alimentação correspondente não era recuperada automaticamente, sendo realizada apenas no ciclo seguinte. Dessa forma, a modificação evitou a duplicação da alimentação, mas não solucionou completamente os efeitos das interrupções de energia sobre a continuidade do manejo. A solução implementada, portanto, evitou a duplicação da dose, mas não eliminou completamente a possibilidade de falhas no fornecimento.

**Figura 6:** Comportamento do protótipo após interrupção do fornecimento de energia.



**Fonte:** Autoria Própria, 2025.

A dependência energética constitui uma limitação dos sistemas aquapônicos automatizados, pois interrupções no fornecimento de energia podem comprometer processos essenciais do cultivo (Sátiro *et al.*, 2018). Dutta *et al.* (2025) também destacam a dependência tecnológica e energética em sistemas baseados em IoT. No protótipo desenvolvido, essa limitação evidenciou a necessidade de mecanismos de contingência, como alimentação ininterrupta, relógio de tempo real com bateria e armazenamento persistente dos eventos de alimentação.

De forma geral, os resultados demonstraram a viabilidade funcional do protótipo para programar e executar o fornecimento de ração em um sistema de aquaponia. A integração entre o ESP32, a interface web, o servomotor e os componentes estruturais possibilitou o gerenciamento remoto dos parâmetros de alimentação e o funcionamento programado do mecanismo. Esses resultados estão de acordo com aplicações descritas por Vo *et al.* (2021) e Biazi e Marques (2023), nas quais dispositivos eletrônicos, sistemas embarcados e interfaces computacionais são integrados à automação de operações aquícolas.

Entretanto, a avaliação em condições reais demonstrou que o funcionamento do equipamento depende da integração adequada entre os componentes mecânicos, eletrônicos e computacionais. A instabilidade estrutural inicialmente observada e os efeitos das interrupções no fornecimento de energia evidenciaram limitações que não haviam sido identificadas nos testes de bancada, reforçando a importância da avaliação do protótipo sob condições reais de operação.

O controle programável da alimentação apresenta potencial para aumentar a regularidade dos horários e das quantidades fornecidas. Contudo, os resultados obtidos não permitem determinar seus efeitos sobre o desperdício de ração, o desempenho zootécnico dos peixes ou a qualidade da água. Essas respostas exigem avaliações específicas envolvendo consumo e sobras de alimento, desempenho dos animais e parâmetros de qualidade da água. Portanto, os resultados deste estudo devem ser compreendidos como uma avaliação técnica preliminar do protótipo, que demonstrou sua capacidade funcional e permitiu identificar limitações e aspectos prioritários para seu aprimoramento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do alimentador automático resultou em um protótipo capaz de integrar microcontrolador ESP32, interface web e mecanismo de liberação de ração para automatizar o manejo alimentar em sistemas de aquaponia. A avaliação técnica preliminar demonstrou a viabilidade funcional do equipamento para programar e executar o fornecimento de alimento, enquanto sua utilização em condições reais permitiu identificar limitações estruturais e operacionais relacionadas à exposição ambiental e às interrupções no fornecimento de energia.

Os resultados obtidos permitiram orientar modificações no protótipo e identificar aspectos prioritários para seu aprimoramento. Estudos futuros deverão incluir ensaios quantitativos de precisão e repetibilidade da dosagem, diferentes granulometrias e

quantidades de ração, além da avaliação do desempenho zootécnico, das sobras alimentares e da qualidade da água. Também se recomenda aprimorar a resistência estrutural do equipamento e incorporar mecanismos de alimentação elétrica ininterrupta e armazenamento das configurações e dos eventos de alimentação.

## REFERÊNCIAS

BANZI, M.; SHILOH, M. **Getting Started with Arduino**. 4. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2022.

BIAZI, Vitorino; MARQUES, Carlos. **Industry 4.0-based smart systems in aquaculture: a comprehensive review**. *Aquacultural Engineering*, v. 103, 102360, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102360>.

CYRINO, José Eurico Possebon *et al.* **A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura**. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 68-87, 2010.

DUTTA, Monica *et al.* **Internet of Things-Based Smart Precision Farming in Soilless Agriculture: opportunities and challenges for global food security**. *IEEE Access*, v. 13, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3540317>.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32 Series Datasheet. Version 5.2**. Shanghai: Espressif Systems, 2025. Disponível em: [https://documentation.espressif.com/esp32\\_datasheet\\_en.html](https://documentation.espressif.com/esp32_datasheet_en.html)

LOVE, David C. *et al.* **Commercial aquaponics production and profitability: findings from an international survey**. *Aquaculture*, v. 435, p. 67-74, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.023>.

SÁTIRO, Thaise Mota *et al.* **Aquaponia: sistema que integra produção de peixes com produção de vegetais de forma sustentável**. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, v. 11, n. 1, p. 38-54, 2018.

TOWERPRO. **MG995 High Speed and High Torque Servo Motor: Datasheet**. Shenzhen: TowerPro, 2019. Disponível em: <https://towerpro.com.tw/product/mg995-robot-servo-180-rotation/>

VALENTI, Wagner C. *et al.* **Aquaculture in Brazil: past, present and future**. *Aquaculture Reports*, v. 19, 100611, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>.

VO, Thi Thu Em *et al.* **Overview of Smart Aquaculture System: focusing on applications of machine learning and computer vision**. *Electronics*, v. 10, 2882, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics10222882>.