

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
RONDÔNIA *CAMPUS* PORTO VELHO CALAMA  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E  
AUTOMAÇÃO**

**Sistema de visão computacional de baixo custo para contagem  
automatizada de objetos com IA embarcada**

**FÁBIO DE OLIVEIRA PRADO**

**PORTO VELHO/RO**

**2025**

Sistema de visão computacional de baixo custo para contagem automatizada de objetos com IA embarcada

**FÁBIO DE OLIVEIRA PRADO**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Porto Velho Calama, como requisito parcial para obtenção do grau de licenciado junto ao Curso de Engenharia de controle e Automação sob a orientação da Professor Ms. Kariston Dias Alves

**PORTO VELHO/RO**

**2025**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Prado, Fábio de Oliveira.

Sistema de visão computacional de baixo custo para contagem automatizada de objetos com IA embarcada / Fábio de Oliveira Prado.

- Porto Velho, 2025.

22 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Kariston Dias Alves.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Porto Velho, 2025.

ISBN 1983-0882

1. ESP32CAM. 2. Inteligência Artificial. 3. Edge Impulse. 4. Baixo Custo. 5. Automação. I. Alves, Kariston Dias (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

**Bibliotecário(a) Responsável:** Miria Santana Veiga, CRB-11/898

**FÁBIO DE OLIVEIRA PRADO**

**Sistema de visão computacional de baixo custo para contagem  
automatizada de objetos com IA embarcada**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus Calama*, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel, junto ao Curso Engenharia de Controle e automação, sob a orientação do professor Ms. Kariston Dias Alves.

Aprovado em: 14/11/2025 pela banca examinadora.

---

Membro da Banca

---

Membro da Banca

---

Membro da Banca

---

Orientador

**Sistema de visão computacional de baixo custo para contagem automatizada de objetos com IA embarcada**

**Low-cost computer vision system for automated object counting with embedded AI**

**Sistema de visión por computadora de bajo costo para el conteo automatizado de objetos con IA embebida**

DOI: 10.54033/cadpedv22n12-182

Originals received: 9/17/2025

Acceptance for publication: 10/7/2025

---

**Fábio de Oliveira Prado**

Graduando em Engenharia de Controle e Automação, Bacharel em Informática  
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO)

Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil

E-mail: fabiounir@gmail.com

**Ana Francisca Marques Penha**

Graduanda em Engenharia de Controle e Automação

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO)

Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil

E-mail: anasocial90@gmail.com

**Kariston Dias Alves**

Doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO)

Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil

E-mail: kariston.alves@ifro.edu.br

**Iza Reis Gomes**

Pós-Doutora em Letras: Linguagem e Identidade pela Universidade Federal do Acre (UFAC)

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO)

Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil

E-mail: iza.reis@ifro.edu.br

---

## RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um contador inteligente de baixo custo para a contagem automatizada de objetos, visando otimizar o gerenciamento de estoques. O objetivo é criar um sistema embarcado que utilize visão computacional para identificação e contagem em tempo real. Para isso, utilizou-se um microcontrolador para a captura de imagens e a plataforma Edge Impulse para o desenvolvimento de um modelo de Inteligência Artificial. O modelo de detecção de objetos foi treinado a partir de um dataset próprio e, em seguida, implementado em um firmware. Os resultados da validação do modelo de IA demonstraram uma alta performance, com um F1 Score de 96.8% e uma precisão de 100% na classe de interesse, indicando que o sistema não gera contagens falsas. Os testes funcionais do protótipo confirmaram a eficácia da lógica de transição, com o sistema contando corretamente os objetos à medida que entravam no campo de visão. Conclui-se que a aplicação é viável e eficiente para solucionar problemas de automação industrial, oferecendo uma alternativa acessível aos métodos de contagem manual.

**Palavras-chave:** ESP32CAM. Inteligência Artificial. Edge Impulse. Baixo Custo. Automação.

## ABSTRACT

This paper presents the development of a low-cost smart counter for the automated counting of objects, aiming to optimize inventory management. The objective is to create an embedded system that utilizes computer vision for real-time identification and counting. To this end, a microcontroller was used for image capture and the Edge Impulse platform for the development of an Artificial Intelligence model. The object detection model was trained on a custom dataset and subsequently implemented in a firmware. The validation results of the AI model demonstrated high performance, with an F1 Score of 96.8% and a precision of 100% for the class of interest, indicating that the system does not generate false counts. Functional tests of the prototype confirmed the effectiveness of the transition logic, with the system correctly counting objects as they entered the field of view. It is concluded that the application is viable and efficient for solving industrial automation problems, offering an affordable alternative to manual counting methods.

**Keywords:** ESP32CAM. Artificial Intelligence. Edge Impulse. Low Cost. Automation.

## RESUMEN

Este artículo presenta el desarrollo de un contador inteligente de bajo costo para el conteo automatizado de objetos, con el objetivo de optimizar la gestión de inventarios. El propósito es crear un sistema embebido que utilice visión por computadora para la identificación y el conteo en tiempo real. Para ello, se empleó un microcontrolador para la captura de imágenes y la plataforma Edge Impulse para el desarrollo de un modelo de Inteligencia Artificial. El modelo de detección de objetos fue entrenado a partir de un conjunto de datos propio y posteriormente implementado en un firmware. Los resultados de la validación del modelo de IA

demonstraron un alto rendimiento, con un F1 Score de 96,8% y una precisión del 100% en la clase de interés, lo que indica que el sistema no genera conteos falsos. Las pruebas funcionales del prototipo confirmaron la eficacia de la lógica de transición, con el sistema contando correctamente los objetos a medida que ingresaban en el campo de visión. Se concluye que la aplicación es viable y eficiente para resolver problemas de automatización industrial, ofreciendo una alternativa accesible a los métodos de conteo manual.

**Palabras clave:** ESP32CAM. Inteligencia Artificial. Edge Impulse. Bajo Costo. Automatización.

## 1 INTRODUÇÃO

Os avanços da tecnologia vêm crescendo nos últimos anos, onde vivemos um período em que a tecnologia está nas mais simples ações do nosso cotidiano, seja no trabalho, na escola, em casa ou em um supermercado, “conectando as pessoas em toda parte do mundo” (Godoi; Araújo, 2018, p. 20). A tecnologia veio se desenvolvendo desde século XX com a criação do primeiro computador que foi “projetado para calcular rotas estratégicas durante o ataque aos países do Eixo”<sup>1</sup>. Dando espaço para novas criações, a “internet teve início com a Arpanet, uma rede de troca de informações que havia sido desenvolvida para conectar instalações de pesquisas e militares com o Pentágono, nos Estados Unidos, na década de 1960.” (Brasil Escola, 2025). “Através dos benefícios adquiridos com a Internet em 1990, John Romkey criou o primeiro equipamento conectado à Internet, que abordava uma torradeira elétrica que podia ser ligada por meio da conexão com a Internet.” (Godoi; Araújo, 2018, p. 20). Índices da primeira comunicação IOT.

Já em 1999, Kevin Ashton pesquisador do Instituto de Tecnologia do Massachusetts (MIT Auto-ID Laboratory) criou o termo IOT - Internet of Things (Internet das Coisas), utilizando tecnologias RFID (identificação por radiofrequência) e Wireless Sensor Networks. Os pesquisadores iniciaram a proposta de um sistema global de fácil identificação em que equipamentos poderiam ser interconectados através da Internet, trocando informações e dados entre si e trabalhando de forma eficiente e produtiva. (Godoi; Araújo, 2018, p. 20).

---

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.orientarcentroeducacional.com.br/noticias/conheca-o-primeiro-computador-do-mundo.html> . Acesso em: 2 jul. 2025.

Essa evolução tecnológica sempre andou junto com as mudanças no comércio desde a produção manual na Era Mercantil no século XV e XVIII à industrialização, trazendo novas formas de produção, vendas e consumo.

Com o início da Era da Informação, a rapidez na troca de informações se tornou muito importante. As empresas entenderam que organizar dados e tarefas era essencial para se desenvolver. Foi nesse momento que surgiram sistemas mais modernos de controle, gestão, administração e monitoramento visando maior eficiência nas operações organizacionais.

A gestão de materiais é fundamental para o desempenho das empresas, especialmente em um mercado competitivo e em constante transformação. Dessa forma, o gerenciamento de estoques se destaca como uma estratégia importante para melhorar a produtividade, atender com mais eficiência às demandas dos clientes e minimizar perdas e custos desnecessários (Cigam, 2023).

De acordo com a Appinventiv (2023), na atual Era Digital, tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) vêm impulsionando o setor varejista por meio de soluções como prateleiras inteligentes, etiquetas RFID e carrinhos automatizados. Dessa forma, o comércio demanda conectividade constante, agilidade e controle em tempo real. Tanto pequenos negócios quanto grandes empresas buscam soluções inovadoras que aliam praticidade, baixo custo e alta eficiência.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema automatizado de contagem de objetos, com geração de gráficos e relatórios baseados em banco de dados, utilizando a ESP32-CAM para captura de imagens e a plataforma Edge Impulse para o reconhecimento dos objetos. A proposta visa aumentar a eficiência do processo e substituir métodos tradicionais de contagem de estoque, oferecendo uma alternativa mais ágil, precisa e de baixo custo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 VISÃO COMPUTACIONAL E DETECÇÃO DE OBJETOS

Segundo Ballou (2006), o gerenciamento de estoques é crucial para garantir a disponibilidade de produtos e o equilíbrio entre oferta e demanda, impactando diretamente os níveis de serviço ao cliente e os custos operacionais. Para Dias (2010), um bom controle de estoque permite maior precisão nos pedidos e evita tanto excessos quanto rupturas, além de influenciar diretamente a saúde financeira da empresa e sua lucratividade.

Atualmente, empresas de grande porte já investem em diversas soluções automatizadas para facilitar suas operações, garantindo maior precisão, controle e eficiência. A adoção desses sistemas proporciona mais agilidade nos processos internos e favorece a integração com setores como compras e vendas, resultando em uma gestão mais unificada e estrategicamente alinhada, podendo assim evitar o desequilíbrio nos níveis de estoque.

### 2.2 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EMBARCADA

A meta da pesquisa em visão computacional é demonstrar a capacidade visual semelhante à do ser humano. A máquina pode sentir o ambiente em seu campo de visão, compreender o que está sendo sentido e realizar ações apropriadas através de programas computacionais (Besl & Jain, 1985).

Segundo a IBM (2021), a visão computacional permite que máquinas interpretem imagens e vídeos com precisão, reconhecendo padrões e objetos de forma automatizada, sendo aplicada em diversas áreas como segurança, controle de qualidade e autenticação facial.

O reconhecimento de objetos é uma técnica conhecido como *Machine Learning*, consiste em um processo no qual os computadores são treinados para reconhecer padrões em que aprende a identificar e diferenciar coisas dentro de uma imagem. Isso acontece com a ajuda da inteligência artificial, que usa cálculos e regras para treinar a máquina. Por exemplo, se quisermos que o

sistema reconheça um parafuso, mostramos várias fotos de parafusos e dizemos a ele: “isso é um parafuso”. Com o tempo, ele aprende a identificar outros parafusos sozinho, mesmo que estejam em posições diferentes ou com tamanhos variados.

## 2.3 TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Para o desenvolvimento de um software é necessário o uso de uma linguagem de programação, que possibilita a comunicação entre o ser humano e a máquina, permitindo a definição de tarefas específicas e complexas por meio de instruções organizadas.

### 2.3.1 C++

C++ é uma linguagem de propósito geral voltada para programação de sistemas, que oferece abstrações leves e poderosas. Suporta abstração de dados, programação orientada a objetos e genérica, proporcionando controle eficiente sobre recursos de hardware (Stroustrup, 2024). Criado em 1983 por Bjarne Stroustrup, essa linguagem C++ é uma ampliação da linguagem C e é bastante utilizada em sistemas embarcados. Por ser uma linguagem rápida e versátil, quando bem utilizada, permite criar programas eficientes, sendo uma ótima escolha para aplicações que exigem desempenho e controle detalhado do sistema.

Na linguagem C++, é possível criar programas organizando as informações de forma que cada parte represente algo do mundo real, como um cliente, um produto ou uma máquina. Cada um desses elementos pode ter suas próprias características e ações. A partir de um modelo, é possível criar várias cópias com comportamentos semelhantes, mas com dados diferentes.

O C++ permite aproveitar estruturas já criadas, adaptar comportamentos conforme a necessidade e esconder os detalhes mais técnicos, mostrando ao usuário apenas o que for necessário. Isso facilita a construção de programas mais limpos, fáceis de entender e de modificar no futuro. Dando ao mesmo o

controle total sobre como o computador vai usar sua memória. Esse nível de controle é ótimo para criar sistemas rápidos e eficientes, mas exige atenção para evitar erros que podem prejudicar o funcionamento do programa.

### 2.3.2 ESP32-CAM

O ESP32-CAM é uma placa que usa o microcontrolador ESP32, famoso pelo seu processador rápido e pela conexão integrada de Wi-Fi e Bluetooth. Ele é uma versão melhorada do ESP8266, com mais potência e mais entradas para ligar sensores e outros dispositivos.

O grande diferencial do ESP32-CAM é a câmera OV2640 de 2 megapixels e o espaço para cartão microSD, que permitem tirar fotos e salvar direto na placa. Isso torna essa placa perfeita para projetos como câmeras de segurança, monitoramento e reconhecimento de imagens. Para programar o ESP32-CAM, você precisa de um conversor USB-Serial, porque a placa não tem entrada USB. Esse conversor serve tanto para alimentar a placa quanto para enviar o código que você escreveu.

Essa placa pode ser programada em várias linguagens, como C++, MicroPython e Lua, o que deixa o uso dela bem versátil desde tarefas simples até projetos com inteligência artificial. Além disso, o ESP32-CAM já vem com recursos para reconhecimento facial e outras funções de inteligência artificial, o que ajuda muito em projetos que precisam de vídeo e automação, com comunicação rápida e direta.

Para facilitar o desenvolvimento, a maioria das pessoas usa a IDE Arduino, uma plataforma simples e muito popular. Ela tem várias bibliotecas que ajudam a trabalhar com a câmera, capturar e processar imagens, tornando o processo muito mais fácil e rápido para quem está começando ou mesmo para quem já tem experiência.

### 2.3.3 Edge Impulse

A plataforma Edge Impulse facilita o desenvolvimento de machine learning em dispositivos IoT ao coletar dados diretamente de sensores como câmeras e acelerômetros em tempo real. Sua interface gráfica intuitiva permite treinar modelos de aprendizado de máquina, mesmo para quem não tem conhecimentos avançados, trabalhando com redes neurais e processamento de sinais. Depois do treinamento, a plataforma gera código em C++ otimizado, compatível com diversos microcontroladores e placas, como ESP32, Raspberry Pi e STM32, permitindo que o modelo rode localmente, sem depender da nuvem. Além disso, o Edge Impulse oferece suporte à integração com frameworks populares, possibilitando o uso e a personalização de modelos conforme a necessidade do projeto.

### 2.3.4 ThingSpeak

O ThingSpeak é uma plataforma baseada na nuvem que permite a coleta, visualização e análise de dados provenientes de dispositivos IoT (Internet das Coisas). Ele é amplamente utilizado para monitoramento remoto, processamento de dados em tempo real e integração com sistemas de machine learning. A plataforma oferece suporte à comunicação via HTTP, MQTT e outros protocolos, facilitando a conexão de sensores e microcontroladores, como Arduino e ESP32, para o envio de informações.

Segundo MathWorks (2023), desenvolvedora do ThingSpeak:

a plataforma fornece uma solução simples para armazenar e visualizar dados de sensores na nuvem, além de integrar análises avançadas e aprendizado de máquina diretamente nos fluxos de dados, permitindo que desenvolvedores construam aplicações inteligentes e conectadas de forma rápida e eficiente.<sup>2</sup>

O ThingSpeak também possui recursos para criação de dashboards personalizados, alertas baseados em condições específicas e integração com

<sup>2</sup> Disponível em: <https://www.mathworks.com/products/thingspeak.html>. Acesso em: 2 Jul. 2025.

outras ferramentas, como MATLAB, que potencializam o processamento e a interpretação dos dados coletados.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste projeto seguiu uma abordagem de pesquisa aplicada e prototipagem incremental. Sendo concebido da seguinte maneira: primeiro, desenhamos a arquitetura do sistema; em seguida, selecionamos as ferramentas; depois, mergulhamos no desenvolvimento do modelo de Inteligência Artificial; e, por fim, integramos tudo no firmware do dispositivo.

#### 3.1 ARQUITETURA DO PROJETO PROPOSTO

A arquitetura projeto foi estruturada de forma lógica para seguir o fluxo de dados, desde a captura até a visualização. O processo inicia na borda (*edge*), onde a câmera do ESP32-CAM atua como o sensor visual do projeto, capturando uma imagem da esteira. Imediatamente, a mesma placa processa essa imagem localmente, utilizando o modelo de inteligência artificial embarcado para identificar o objeto e executar a lógica de contagem. Por fim, apenas o resultado final — o número da contagem — é enviado via Wi-Fi para a plataforma de IoT ThingSpeak, que armazena e exibe os dados. Na figura 1 é possível visualizar a demonstração:

Figura 1 - Fluxograma do processo operacional do sistema

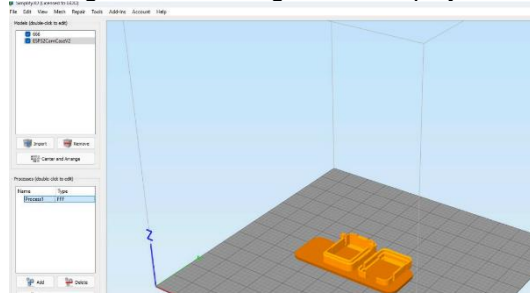


Fonte: Elaborado pelos próprios autores

### 3.2 CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DO PROTÓTIPO FÍSICO

Para garantir a integridade e a funcionalidade do sistema em um ambiente de testes como a esteira, foi desenvolvido um invólucro (case) de proteção específico para o módulo ESP32-CAM. O case foi modelado em software CAD e fabricado utilizando a tecnologia de impressão 3D por Manufatura de Filamento Fundido (FFF), o que permitiu a criação de um encapsulamento preciso e de baixo custo. O software utilizado para o fatiamento do modelo 3D foi o Simplify3D, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Modelagem no Simplify3d



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Figura 3 - Case Impresso



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

### 3.3 TECNOLOGIAS E FERRAMENTAS ADOTADAS

A escolha das ferramentas foi baseada com foco em criar uma solução de baixo custo, mas poderosa e acessível.

- ESP32-CAM: É uma placa compacta que já integra uma câmera, processador dual-core e conectividade Wi-Fi, oferecendo uma plataforma completa para prototipagem de visão computacional a um custo extremamente baixo (Espressif Systems, 2024).
- Edge Impulse: Foi escolhida essa plataforma para o desenvolvimento da IA por ser de fácil utilização e gratuita. Ela nos permitiu criar uma biblioteca própria e tornando assim possível criar uma rede neural do zero.(Edge Impulse, 2024).
- ThingSpeak: O ThingSpeak foi utilizado devido sua API ser de fácil utilização e não foi necessário grandes quantidades de bibliotecas e códigos para integração. Tornando assim possível a visualização dos dados coletados em tempo quase real na versão gratuita (em torno de 20 segundos) (Mathworks, 2024).
- Arduino IDE: Programamos o firmware em C++ através do Arduino IDE com alterando o exemplo fornecido junto com a biblioteca do Edge Impulse.

### 3.4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O desenvolvimento do modelo de Inteligência Artificial seguiu um pipeline estruturado, realizado inteiramente na plataforma Edge Impulse, desde a aquisição dos dados até a otimização final do modelo para o hardware embarcado. O processo foi dividido em duas fases: a preparação do dataset e o ciclo de treinamento e validação da rede neural.

#### 3.4.1 Coleta e preparação do Dataset

A etapa inicial e mais fundamental para o sucesso de qualquer sistema de aprendizado de máquina é a construção de um conjunto de dados (dataset) de alta qualidade. Para este projeto, foi criado um dataset customizado contendo 90 fotografias da porca metálica, que é o objeto de interesse. As imagens foram capturadas sob diversas condições de iluminação e ângulos para garantir que o modelo aprendesse a generalizar o reconhecimento em cenários variados.

Após a coleta, cada uma das 90 imagens passou pelo processo de rotulagem (labeling). Nesta etapa, realizada na interface gráfica do Edge Impulse, foram desenhadas manualmente caixas delimitadoras (bounding boxes) ao redor de cada porca, associando a área demarcada ao rótulo "porca". Este processo supervisionado é essencial para que o algoritmo de aprendizado de máquina saiba exatamente o que procurar em cada imagem de exemplo.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

### 3.4.2 Treinamento e validação do Modelo

Com o dataset preparado, a próxima fase foi o treinamento da rede neural. A plataforma Edge Impulse dividiu automaticamente o nosso dataset em duas partes: 80% para treinamento e 20% para teste/validação. O conjunto de treinamento foi utilizado para ensinar o modelo a reconhecer os padrões visuais da porca, enquanto o conjunto de validação, composto por imagens que o modelo nunca viu antes, serviu para testar sua precisão de forma imparcial.

Figura 5 - Tela de configuração da rede neural

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

O modelo foi configurado utilizando a arquitetura FOMO (Faster Objects, More Objects), uma variação da rede neural MobileNetV2 que é altamente otimizada para detecção de objetos em tempo real em dispositivos com recursos limitados. Configuramos o treinamento para executar por 30 ciclos (epochs) com uma taxa de aprendizado (learning rate) de 0.005. Ao final do processo, o modelo treinado foi exportado como uma biblioteca otimizada para Arduino, pronta para ser integrada ao firmware do ESP32-CAM.

Figura 6 - Exportação da Biblioteca

**Configure your deployment**

You can deploy your impulse to any device. This makes the model run without an internet connection, minimizes latency, and runs with minimal power consumption. [Read more.](#)

Search deployment options

**DEFAULT DEPLOYMENT**  
**Arduino library**  
 An Arduino library with examples that runs on most Arm-based Arduino development boards.

**MODEL OPTIMIZATIONS**  
 Model optimizations can increase on-device performance but may reduce accuracy.

**EON™ Compiler**  
 Same accuracy, 17% less RAM, 35% less ROM.

		IMAGEM	DETECTAR OBJETO	TOTAL
<b>Quantized (int8)</b>				
LATENCY	15 ms		1,205 ms	1,220 ms
RAM	43K		289.5K	332.5K
FLASH	-		71.9K	-
ACCURACY	-		-	-
<b>Unoptimized (float32)</b>				
LATENCY	15 ms		2,704 ms	2,721 ms
RAM	43K		881.1K	924.1K
FLASH	-		100.2K	-
ACCURACY	-		-	-

To compare model accuracy, run model testing for all available optimizations. [Run model testing](#)

Fonte: Elaborado pelos próprios autores

### 3.5 DESENVOLVIMENTO DO FIRMWARE EMBARCADO

A fase final do desenvolvimento consistiu na criação do firmware para o ESP32-CAM, utilizando a linguagem C++ sobre o framework da IDE Arduino. A lógica operacional do firmware implementa um ciclo contínuo de detecção e validação. Para evitar a contagem múltipla do mesmo objeto, caso a esteira pare ou se mova lentamente, foi desenvolvida uma máquina de estados finitos simplificada. Este mecanismo utiliza uma variável de estado para "lembrar" se um objeto já estava presente no quadro anterior, garantindo que a contagem seja incrementada apenas na primeira aparição de um novo objeto.

Após uma detecção inicial, o firmware aplica um rigoroso filtro de validação dupla: o sistema verifica se a confiança retornada pelo modelo de IA é superior ao limiar de 80% e, adicionalmente, confirma se o rótulo do objeto corresponde à "porca". Somente, se ambas as condições forem atendidas, uma variável interna de contagem é incrementada, e um feedback visual imediato é fornecido ao operador através do acionamento momentâneo do LED da placa.

Paralelamente ao processo de detecção, o firmware gerencia a comunicação com a nuvem de forma não-bloqueante. A cada 20 segundos, utilizando um temporizador interno, o valor total da variável de contagem é enviado para a plataforma de IoT ThingSpeak. Isso permite o monitoramento

remoto e em tempo real da produção através de um link público, acessível por qualquer dispositivo conectado à internet, sem interromper o processo contínuo de detecção na esteira.

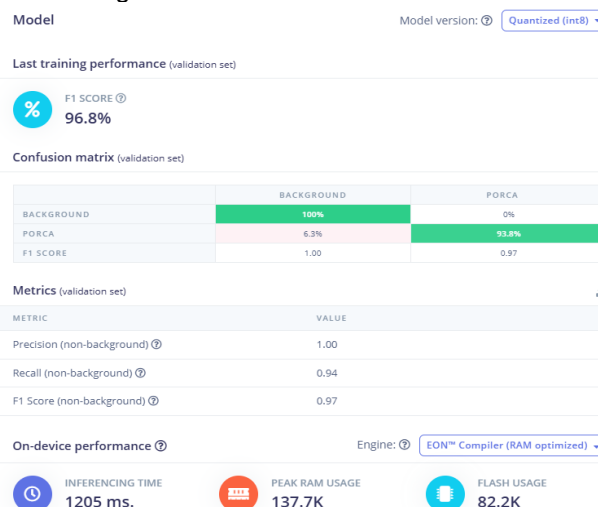
## 4 RESULTADOS E ANÁLISE

Nesta seção, são apresentados e analisados os resultados obtidos em três frentes principais: a performance quantitativa do modelo de Inteligência Artificial treinado, a análise de seu desempenho e consumo de recursos no hardware embarcado e, por fim, a validação funcional do protótipo completo em um cenário de operação simulado.

### 4.1 ANÁLISE DE PERFORMANCE DO MODELO DE IA

A qualidade do modelo de detecção de objetos foi avaliada utilizando o conjunto de dados de validação (20% do total de amostras) na plataforma Edge Impulse. O modelo alcançou um F1 Score geral de 96,8%, um indicador que aponta para um excelente equilíbrio entre precisão e sensibilidade, demonstrando alta performance.

Figura 7 - Tela do Score do Modelo



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

## 4.2 VALIDAÇÃO FUNCIONAL DO PROTÓTIPO

Além da precisão, era fundamental garantir que o modelo fosse leve e rápido o suficiente para operar nos recursos limitados do ESP32-CAM. A análise de performance no dispositivo, utilizando o compilador EON™ da Edge Impulse, forneceu os seguintes resultados:

- **Tempo de Inferência:** 1205 ms (aproximadamente 1.2 segundos). Este é o tempo que a IA leva para analisar uma imagem e tomar uma decisão, um valor considerado eficiente para a aplicação.
- **Uso de Memória RAM:** Pico de 137.7 KB.
- **Uso de Memória Flash:** Apenas 82.2 KB.

Estes dados confirmam que o modelo otimizado (quantizado para int8) opera confortavelmente dentro das capacidades de memória do ESP32-CAM.

## 4.3 VALIDAÇÃO FUNCIONAL DO PROTÓTIPO

A validação final foi realizada com o protótipo montado e em operação em uma esteira transportadora localizada no laboratório 66 do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - Campus Calama, conforme demonstrado na imagem do ambiente de teste. Durante os testes, o comportamento do sistema correspondeu exatamente à lógica implementada no firmware.

Figura 8 - Protótipo Montado

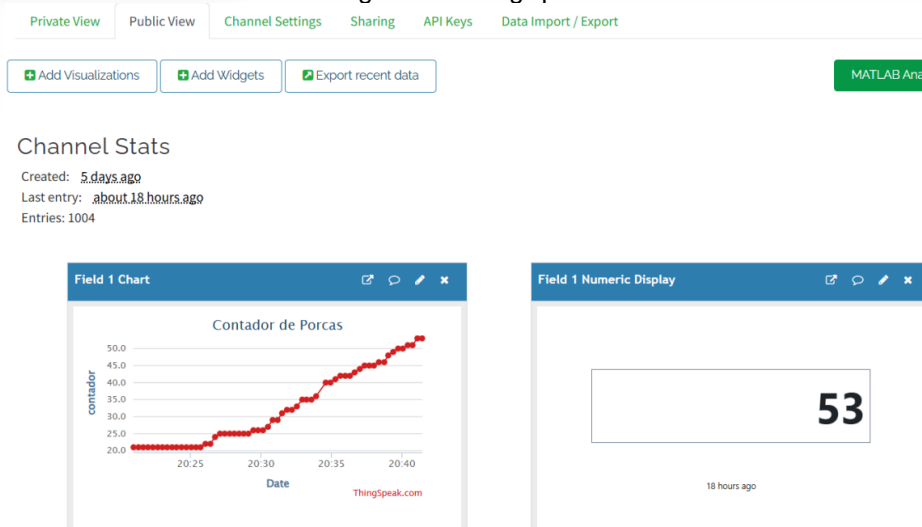


Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Observou-se que o LED de feedback visual era acionado com um piscar único e rápido a cada vez que um novo objeto passava pelo campo de visão da câmera, confirmando que a lógica de "máquina de estados" para evitar recontagens estava funcionando corretamente.

A conectividade com a nuvem também foi validada com sucesso. Os dados da contagem foram enviados periodicamente para a plataforma ThingSpeak, que registrou o incremento do contador ao longo do tempo, como pode ser visto no gráfico gerado pelo dashboard. A plataforma exibiu com sucesso a contagem final de 53 objetos após um período de teste. Estes resultados práticos confirmam que o sistema, como um todo, atingiu os objetivos propostos de detectar, contar e comunicar os dados de forma autônoma e eficiente.

Figura 9 - ThingSpeak



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contagem de objetos abordada neste artigo sempre foi uma demanda presente na maioria das fábricas e empresas desde as de menor quanto as de grande porte, pois é essencial identificar a quantidade de peças produzidas, seu tempo de produção e, em alguns casos, as peças utilizadas para essa produção. Contudo, para as empresas de menor porte ou até mesmo pequenas fábricas, não possuem recursos para adquirir equipamentos sofisticados e soluções de grande porte. Necessitando assim, que a contagem seja feita de maneira manual, um procedimento caracterizado por baixa eficiência e suscetibilidade a erros. Ao fim do projeto, foi possível demonstrar que é viável solucionar essa limitação de maneira eficiente e acessível. O protótipo desenvolvido realiza a detecção e contagem de objetos com elevada precisão, utilizando um modelo de Inteligência Artificial treinado especificamente para essa finalidade, além de transmitir os dados em tempo real pela internet. Todos os objetivos propostos foram alcançados no dispositivo desenvolvido.

O desenvolvimento do projeto evidenciou que a inteligência artificial, isoladamente, não soluciona todas as demandas. Observou-se que o êxito de sistemas embarcados depende de fatores práticos que não estão explícitos em manuais técnicos. Como exemplo, a gestão da instabilidade de energia do

ESP32-CAM e o ajuste preciso do foco da lente são tão importantes quanto a implementação da lógica. Além disso, a identificação de falhas na rotulagem dos dados demonstrou que a atenção aos detalhes na fase de preparação é extremamente importante para o sucesso do projeto.

Entendemos que o protótipo desenvolvido possui uma forte tendência a futuras inovações. A solução proposta possibilita a expansão para diferenciar não apenas porcas, mas também, parafusos, arruelas, caixas, e até objetos maiores. Além da implementação de um painel de controle mais interativo para o usuário final. A integração da inteligência artificial embarcada com hardware de baixo custo apresenta potencial significativo e assim é possível promover avanços no comércio e na indústria.

A presente pesquisa demonstrou que a utilização de ferramentas de Inteligência Artificial, mesmo em plataformas de baixo custo como o microcontrolador ESP, possibilita o desenvolvimento de soluções tecnológicas de aplicabilidade significativa. O emprego de bibliotecas gratuitas disponíveis na internet e de recursos acessíveis, como o Microsoft Edge, evidenciou que, sistemas considerados de alto valor no setor industrial, podem ser implementados de forma econômica, o que contribui para a democratização do acesso à inovação tecnológica.

Ressalta-se, entretanto, que as limitações do hardware empregado se constituem no principal desafio encontrado. O ESP apresenta restrições de memória e de resolução que inviabilizam a implementação de aplicações de maior complexidade e abrangência. Tal condição impõe limites à robustez das soluções, embora não descarte a relevância da proposta para contextos em que o baixo custo seja fator determinante.

Como encaminhamento para estudos futuros, recomenda-se a utilização de hardwares mais potentes, como webcams ou computadores de maior desempenho, bem como a integração de bibliotecas adicionais, capazes de ampliar a base de dados e melhorar a qualidade das implementações. Sugere-se, ainda, a expansão das funcionalidades já desenvolvidas, contemplando múltiplos recursos em um único código, o que pode ampliar a versatilidade e o alcance das aplicações. Dessa forma, reafirma-se o potencial das ferramentas

de Inteligência Artificial quando articuladas a dispositivos de baixo custo, ao mesmo tempo em que se indicam perspectivas para aprimoramentos que podem consolidar soluções mais robustas e aplicáveis em diferentes cenários.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos, em especial, ao nosso orientador, Prof. Me. Kariston Dias Alves, à Prof. Dra. Iza Reis Gomes, ao IFRO - Campus Porto Velho Calama e ao Departamento de Pesquisa, por todo o suporte e colaboração durante este trabalho.

## REFERÊNCIAS

APPINVENTIV. **IoT in retail**: A complete guide on insights & trends. 2023. Disponível em: <https://appinventiv.com/blog/iot-in-retail-industry/> . Acesso em: 2 jul. 2025.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**: planejamento, organização e logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BARR, Michael. **Better Embedded System Software**. [S.l.]: Barr Group, 2018. Disponível em: <https://barrgroup.com/embedded-systems/books/better-embedded-software>. Acesso em: 24 jul. 2025.

BESL, P. J., & JAIN, R. C (1985), Three-dimensional object recognition. *Computing Surveys*, 17(1), 75-145. **IBM. Visão computacional**. 2021. Disponível em: <https://www.ibm.com/think/topics/computer-vision> . Acesso em: 24 jul. 2025.

CIGAM. **Gestão de estoque**: o que é e qual a importância para a sua empresa. 2023. Disponível em: <https://www.cigam.com.br/blog/723/gestao-de-estoque-o-que-e-e-qual-a-importancia-para-a-sua-empresa> . Acesso em: 29 jun. 2025.

DIAS, M. A. P. **Administração de materiais**: princípios, conceitos e gestão. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

DRTECHMOZ. **O que é ESP32?**. Disponível em: <https://drtechmoz.com/o-que-e-esp32/> .Acesso em: 25 jul. 2025.

EDGE IMPULSE. **Edge Impulse Documentation**. Edge Impulse Inc., 2024. Disponível em: <https://docs.edgeimpulse.com/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32-CAM Getting Started Guide**. Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd., 2024. Disponível em: <https://docs.espressif.com/projects/esp-who/en/latest/get-started/get-started-esp32-cam.html>. Acesso em: 24 jul. 2025.

GODOI, Maiko Gustavo de; ARAÚJO, Liriane Soares de. A internet das coisas: evolução, impactos e benefícios. **Revista Interface Tecnológica**, Faculdade de Tecnologia de Catanduva (FATEC) – SP, p. 19–30, [ano de publicação].

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. **Deep Learning**. MIT Press, 2016. Disponível em: <https://www.deeplearningbook.org/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

INSTITUTO DIGITAL. **Módulo ESP32-CAM Câmera OV2640**. Disponível em: <https://www.institutodigital.com.br/produto/modulo-esp32-cam-camera-ov2640/> . Acesso em: 25 jul. 2025.

MATHWORKS. **ThingSpeak Documentation**. The MathWorks, Inc., 2024. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/thingspeak/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

ORIENTAR CENTRO EDUCACIONAL. Conheça o primeiro computador do mundo. Disponível em: <https://www.orientarcentroeducacional.com.br/noticias/conheca-o-primeiro-computador-do-mundo.html>. Acesso em: 2 jul. 2025.

RDPF. ESP32 e IoT. Disponível em: <https://rdpf.wordpress.com/esp32-e-iot/>. Acesso em: 25 jul. 2025.

ROELANTS, Pieter. Why is data the most important part of AI?. **Towards Data Science**, 2017. Disponível em: <https://towardsdatascience.com/why-is-data-the-most-important-part-of-ai-82329d91f26a>. Acesso em: 24 jul. 2025.

SHI, Weisong; CAPDEBOSCQ, Cédric; KNIGHT, James. **Edge Computing: Vision and Challenges**. IEEE Internet of Things Journal, v. 3, n. 5, p. 637-646, 2016. DOI: 10.1109/JIOT.2016.2579198.

STARTBIT. Comparação entre ESP32 e outros microcontroladores: qual escolher?. Disponível em: <https://startbit.com.br/md/comparacao-entre-esp32-e-outros-micro-controladores-qual-escolher-L2G1A4>. Acesso em: 25 jul. 2025.