

Desenvolvimento de um sistema IoT para monitoramento e contagem de produção industrial

Development of an IoT system for monitoring and counting industrial production

Emilly Jenniffer Martins dos Santos¹; Liélson dos Santos Andrade²; Luan Henrique Souza Damasceno³; Marina Medeiros de Araujo Leite⁴; Samuel Azevedo de Farias⁵; Gustavo Fontoura de Souza⁶; Leonardo Gomes de Paiva Amorim⁷; João Moreno Vilas Boas de Souza Silva⁸

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema baseado em Internet das Coisas (IoT) para monitoramento e contagem automatizada de produtos em linha de produção industrial. A pesquisa é realizada em parceria com a empresa Industrias Unidas SM LTDA Alimentos, localizada em Macaíba/RN, com o objetivo de automatizar o processo de contagem de unidades produzidas e gerar indicadores confiáveis de produção. A solução proposta consiste no uso de sensores industriais de presença integrados com microcontroladores do tipo ESP32, que registram a contagem de produtos e a enviam via protocolo MQTT para um servidor. Os dados coletados são integrados à plataforma *Home Assistant*, permitindo a visualização e o acompanhamento das informações em tempo real por meio de um *dashboard* interativo. A arquitetura do sistema permite a aquisição contínua dos dados, sua transmissão segura e o armazenamento estruturado das informações, possibilitando o acompanhamento da produção e a análise histórica dos indicadores. Testes

¹ Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: emilly.jenniffer@escolar.ifrn.edu.br

² Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: lielson.andrade.089@ufrn.edu.br

³ Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: luan.damasceno.084@ufrn.edu.br

⁴ Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: marina.leite.018@ufrn.edu.br

⁵ Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: samuel141516@gmail.com

⁶ Docente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: gustavo.fontoura@ifrn.edu.br

⁷ Docente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: leonardo.amorim@ifrn.edu.br

⁸ Docente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: joao.vilasboas@ifrn.edu.br

realizados em ambiente controlado e em trechos da linha de produção demonstram que o sistema apresenta desempenho consistente, mantendo a contagem local mesmo em situações de instabilidade de rede e sincronizando automaticamente os dados quando a conexão é restabelecida. Observou-se como principal limitação a sensibilidade do sensor fotoelétrico a superfícies transparentes ou muito escuras, característica inerente a sensores de reflexão difusa. A estratégia de reposicionar o sensor para a detecção das tampas dos frascos mostrou-se eficaz para mitigar esse problema, aumentando a confiabilidade da contagem. Os resultados indicam que o sistema desenvolvido é tecnicamente viável, de baixo custo e aplicável ao contexto industrial, contribuindo para a redução de falhas humanas, melhoria do controle de qualidade e apoio à tomada de decisão baseada em dados.

Palavras-chave: Internet das Coisas; Contagem automatizada; MQTT; ESP32.

ABSTRACT

This work presents the development of a system based on the Internet of Things (IoT) for automated monitoring and counting of products on an industrial production line. The research is carried out in partnership with Industrias Unidas SM LTDA Alimentos, with the objective of automating the counting process of produced units and generating reliable production indicators. The proposed solution consists of using industrial presence sensors integrated with ESP32 microcontrollers, which record the product count and send it via the MQTT protocol to a server. The collected data are integrated into the Home Assistant platform, enabling real-time visualization and monitoring of information through an interactive dashboard. The system architecture allows continuous data acquisition, secure transmission, and structured information storage, enabling production monitoring and historical analysis of indicators. Tests carried out in controlled environments and on sections of the production line demonstrate that the system delivers consistent performance, maintaining local counting even during network instability situations and automatically synchronizing the data once the connection is restored. The main limitation observed was the sensitivity of the photoelectric sensor to transparent or very dark surfaces, a characteristic inherent to diffuse reflection sensors. The strategy of repositioning the sensor to detect bottle caps proved effective in mitigating this issue, increasing counting reliability. The results indicate that the developed system is technically feasible, low-cost, and applicable to the industrial context, contributing to the reduction of human errors, improvement of quality control, and support for data-driven decision-making.

Keywords: Internet of Things; Automated counting; MQTT; ESP32.

1. INTRODUÇÃO

A Industrias Unidas SM LTDA Alimentos, indústria localizada no município de Macaíba/RN e atuante na produção de molhos, vinagres e condimentos, enfrenta desafios recorrentes relacionados à contagem eficiente dos produtos fabricados, bem como à distinção entre itens conformes e não conformes.

A ausência de um sistema automatizado capaz de registrar essas informações em tempo real limita o acompanhamento preciso da produtividade, dificulta a análise de perdas e restringe a geração de indicadores confiáveis para a gestão da produção, situação comum em ambientes industriais que ainda não adotaram plenamente os princípios da automação (Xavier *et al.*, 2023).

Especificamente no setor alimentício, a contagem precisa dos produtos fabricados visando à comparação entre o total produzido e o número de unidades defeituosas constitui um fator essencial para o controle de qualidade, a rastreabilidade e a avaliação do desempenho operacional. A ausência de processos automatizados torna o processo sujeito a erros humanos, inconsistências e atrasos na obtenção de informações, o que pode comprometer a confiabilidade dos indicadores de produção e dificultar a identificação de não conformidades ao longo da linha produtiva.

No contexto industrial, a utilização de tecnologias associadas à Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) tem viabilizado o registro automatizado e o monitoramento contínuo de variáveis produtivas e a geração de dados confiáveis para apoio à tomada de decisão (Atzori; Iera; Morabito, 2010). Nesse cenário, o desenvolvimento de sistemas embarcados para a contagem de produtos em linhas de produção mostra-se uma solução eficaz para aumentar a confiabilidade na medição da quantidade produzida e na identificação de falhas (Leal *et al.*, 2021).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver um sistema IoT para contagem automatizada de produtos em linha de produção, utilizando microcontrolador ESP32, sensores industriais de presença e comunicação via protocolo MQTT. O sistema proposto realiza a identificação da quantidade total de produtos produzidos, o registro de itens com defeito e o armazenamento das informações em banco de dados, permitindo a visualização dos dados por meio de *dashboards* acessíveis em tempo real. O uso de *dashboards* justifica-se, pois alivia a carga cognitiva e melhora a compreensão dos dados (Alvarado *et al.*, 2021).

Como objetivos específicos, busca-se: implementar um protótipo funcional integrado à linha de produção; garantir comunicação estável e confiável entre os dispositivos por meio do protocolo MQTT; armazenar os dados coletados em banco de dados relacional; desenvolver painéis de visualização para acompanhamento da produção; e realizar testes em ambiente industrial real, avaliando o desempenho e as limitações da solução proposta.

A relevância deste estudo reside na aplicação prática de tecnologias IoT em um ambiente industrial real, contribuindo para a melhoria do controle de qualidade, da rastreabilidade e da eficiência operacional da Indústrias Unidas SM LTDA Alimentos. Além disso, o trabalho fornece subsídios técnicos para futuras expansões do sistema e para a adoção de soluções semelhantes em outras linhas de produção.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Arquitetura IoT e Comunicação em Rede

Segundo Magrani (2018), o termo Internet das Coisas (IoT) pode ser caracterizado como um ambiente no qual dispositivos físicos estão conectados por redes digitais e incorporam sensores, atuadores e tecnologias embarcadas, permitindo a coleta, transmissão e processamento de dados. Esse conjunto de dispositivos interligados constitui um ecossistema voltado para a automatização de tarefas e para a criação de soluções que simplificam atividades cotidianas, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida e para a otimização de diversos processos.

Nesse contexto, a comunicação entre os dispositivos IoT e os servidores da Indústrias Unidas SM LTDA Alimentos é realizada por meio de uma arquitetura leve, segura e altamente confiável, baseada principalmente nos protocolos MQTT e Wi-Fi, garantindo a transmissão eficiente e em tempo real dos dados coletados.

De acordo com Hunkeler, Truong e Stanford-Clark (2008), o MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de comunicação extremamente leve, baseado no modelo *publish/subscribe*, ideal para dispositivos embarcados com baixa capacidade de processamento. Suas vantagens incluem: (i) Baixa latência; (ii) Baixo consumo de energia; (iii) Simplicidade na implementação e na transferência de dados; (iv) Segurança e confiabilidade; (v) Suporte à conexão de diversos dispositivos simultaneamente; (vi) Tolerância a falhas de conexão.

Diante dessas características, o MQTT é amplamente utilizado em aplicações industriais, sendo escolhido como o padrão de comunicação entre o ESP32 e o servidor da empresa. Para viabilizar essa comunicação, o microcontrolador ESP32 conecta-se à rede Wi-Fi corporativa, enviando os dados ao broker MQTT. O uso do Wi-Fi é adequado por

oferecer banda suficiente para transmissões rápidas e frequentes, além de permitir conectividade direta com servidores locais e em nuvem (ESPRESSIF SYSTEMS, 2023).

2.2 Sensores fotoelétricos de presença

O projeto utiliza um sensor fotoelétrico de presença difuso NPN (modelo E3F-DS30C4). Esse tipo de sensor emite um feixe de luz que é refletido pelo objeto e retorna ao detector integrado no próprio corpo do sensor (Gayathri *et al.*, 2025).

O funcionamento do sensor baseia-se na emissão de um feixe de luz infravermelha a partir de um emissor integrado. Quando um objeto (produto) entra na região de detecção, parte da radiação luminosa é refletida pela superfície do objeto e retorna ao receptor óptico presente no próprio corpo do sensor.

O circuito interno interpreta esse retorno como a presença do objeto e, conseqüentemente, aciona a saída NPN, enviando um sinal elétrico ao microcontrolador ESP32, que realiza o processamento da informação de detecção.

Dentre as vantagens do uso desse equipamento, estão: (i) Boa resposta a objetos opacos; (ii) Fácil ajuste de distância até 30 cm; (iii) Ampla faixa de tensão de alimentação (10 a 30 VDC); (iv) Saída NPN compatível com a maioria dos dispositivos de controle industrial; (v) Baixo custo e boa durabilidade.

Diante disso, Takawade (2024) destaca que esses sensores são amplamente utilizados em esteiras transportadoras, pois operam de forma rápida, confiável e sem contato físico, sendo adequados para diferentes materiais e condições ambientais e contribuindo, assim, para a otimização de tarefas como a gestão de estoque e a eficiência operacional.

2.3 Microcontroladores e sistemas embarcados

O ESP32 é um microcontrolador robusto, amplamente utilizado em soluções IoT. Isso ocorre porque o dispositivo possui processador dual-core, o que permite a execução paralela de tarefas, favorecendo a implementação de sistemas multitarefa com maior eficiência e previsibilidade temporal (ESPRESSIF SYSTEMS, 2023).

Entre suas principais características, destacam-se a conectividade Wi-Fi e Bluetooth integradas, eliminando a necessidade de módulos externos de comunicação e reduzindo a complexidade do hardware do sistema. O ESP32 dispõe ainda de uma ampla gama de pinos de entrada e saída de uso geral (GPIO), com fácil controle por software, além de suporte

nativo a interrupções, temporizadores e periféricos como ADC, PWM, UART, SPI e I²C, o que o torna adequado para aplicações industriais e sistemas embarcados complexos (ESPRESSIF SYSTEMS, 2023).

No sistema desenvolvido neste trabalho, o dispositivo executa a lógica de contagem, filtra ruídos, realiza conexão com Wi-Fi, envia dados via MQTT e pode controlar dispositivos auxiliares como relés e sinaleiros.

2.4 Computação em nuvem, banco de dados e *dashboards*

O sistema utiliza um conjunto de tecnologias para armazenamento e visualização dos dados coletados ao longo da linha de produção. A comunicação entre os dispositivos de campo e a infraestrutura de armazenamento é realizada por meio de um *broker* MQTT, que atua como elemento central da comunicação. O *broker* é responsável por receber, organizar e distribuir as mensagens publicadas pelos dispositivos embarcados aos respectivos assinantes, assegurando uma comunicação assíncrona escalável (Yuan, 2017).

Os dados coletados são armazenados em um banco de dados relacional MySQL, utilizado para o registro estruturado das informações de produção. A escolha desse banco de dados se deu pela sua vasta documentação, escalabilidade e segurança (Pires, 2025). Entre os dados armazenados destacam-se a quantidade total de produtos fabricados, o número de itens com defeito, os *timestamps* associados a cada evento, a identificação dos dispositivos responsáveis pela coleta e os indicadores históricos de produção. A utilização de registros em tabelas possibilita a realização de análises estatísticas, auditorias de produção e a geração de relatórios gerenciais, sendo o MySQL uma solução amplamente adotada para armazenamento estruturado de dados em sistemas industriais e corporativos (Oracle Corporation, 2024).

A visualização das informações é realizada por meio da plataforma *Home Assistant*⁹. O *software* permite a criação de painéis personalizados compostos por cartões e gráficos. Para este projeto, a plataforma foi configurada para exibir a contagem total de produtos, o número de itens defeituosos, gráficos de produção em tempo real, histórico de produção por período, status de funcionamento dos dispositivos e indicadores operacionais relevantes.

A escolha do *Home Assistant* justifica-se por sua arquitetura leve e flexível, pela facilidade de integração com o protocolo MQTT, pela capacidade de comunicação com

⁹ *Home Assistant* é uma plataforma de código aberto voltada à automação e monitoramento de sistemas IoT, permitindo a integração de dispositivos por meio de diferentes protocolos de comunicação e a visualização de dados em tempo real por meio de painéis interativos.

diferentes hardwares e serviços, bem como pela automação e o monitoramento em tempo real, além do desenvolvimento rápido de *dashboards* responsivos e acessíveis (OPEN HOME FOUNDATION, 2026). Essas características tornam a plataforma adequada para o monitoramento da produção industrial na Industrias Unidas SM LTDA Alimentos.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho contemplou etapas de levantamento de requisitos, desenvolvimento do protótipo e testes em ambiente laboratorial e industrial. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, com abordagem experimental, conduzida por meio de um estudo de caso em ambiente industrial. O objetivo foi desenvolver e aplicar um sistema baseado em Internet das Coisas (IoT) para o monitoramento e a contagem automatizada de produtos em uma linha de produção, avaliando seu funcionamento em condições reais de operação.

A população da pesquisa corresponde ao conjunto de unidades produzidas em uma linha de produção industrial contínua. A amostragem foi definida de forma não probabilística, considerando os produtos que trafegam por trechos específicos da linha onde o sistema de contagem foi instalado. Essa seleção permitiu a observação do comportamento do sistema em condições representativas do processo produtivo, sem interferir no fluxo normal da produção.

O estudo foi realizado em uma linha de produção industrial, pertencente à empresa Industrias Unidas SM LTDA Alimentos, localizada no município de Macaíba/RN. O ambiente caracteriza-se pela produção seriada de unidades, com deslocamento contínuo dos produtos por meio de esteiras. Adicionalmente, etapas preliminares de validação foram conduzidas em ambiente controlado (laboratório do LAICA), com o intuito de testar o funcionamento dos componentes e ajustar parâmetros do sistema antes da aplicação em campo.

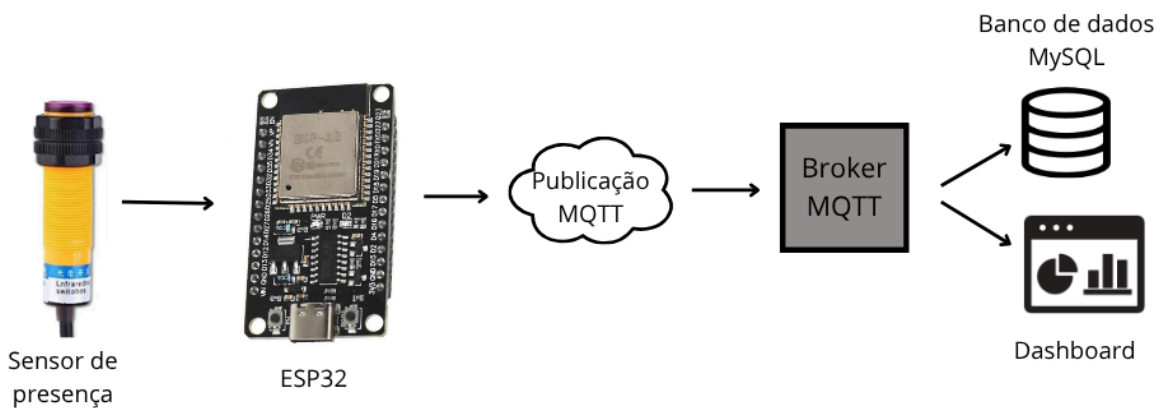
3.1 Arquitetura do sistema

O sistema proposto é composto por um conjunto integrado de hardware, firmware, comunicação em rede, armazenamento de dados e visualização das informações. A arquitetura foi projetada de forma modular, visando facilitar a manutenção, a escalabilidade e a replicação da solução em outras linhas de produção.

O processo de contagem inicia-se com a detecção da passagem dos produtos por meio de um sensor industrial fotoelétrico de presença, instalado diretamente na linha de produção. O sinal gerado pelo sensor é processado por um microcontrolador ESP32, responsável pela leitura dos dados, filtragem de ruídos, execução da lógica de contagem e gerenciamento da comunicação em rede.

Os dados coletados são transmitidos via rede Wi-Fi para um broker MQTT, utilizando o modelo publish/subscribe, que facilita a integração com outras plataformas e possibilita escalabilidade (Seoane *et al.* 2021; Vieira *et al.* 2024). Em seguida, as informações são encaminhadas para um banco de dados relacional MySQL, onde são armazenadas de forma estruturada, juntamente com registros temporais e identificadores do dispositivo. Por fim, os dados são disponibilizados para visualização em tempo real por meio de *dashboards* desenvolvidos na plataforma *Home Assistant*, permitindo o acompanhamento da produção e dos indicadores operacionais. O fluxo geral de funcionamento do sistema é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do funcionamento do sistema de contagem automatizada



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Hardware Utilizado

O sistema de aquisição de dados foi implementado com os componentes de hardware apresentados na Tabela 1. O protótipo desenvolvido, bem como sua disposição interna, é ilustrado nas Figuras 2 e 3.

Tabela 1 – Componentes de hardware do sistema de aquisição de dados

Item	Função
Módulo ESP32D 38 pinos	Controlador principal da contagem.
Módulo ESP32 Modbus – Relé 4/8 canais (9–24V)	Acionamento de sinaleiros e circuitos auxiliares.
Fotosensor NPN E3F-DS30C4	Contagem da passagem das garrafas.
Caixa de passagem Steck 234×174×90 mm	Acomodação dos componentes.
Sinaleiros verde e vermelho 24 VDC	Indicação visual do sistema.
Chave interruptora 10A 125/250VAC	Liga/desliga da caixa.
Fontes 12V e 24V (trilho DIN) e 12V/2A bancada	Alimentação dos módulos.
Prensa-cabos nylon	Organização e segurança dos cabos.

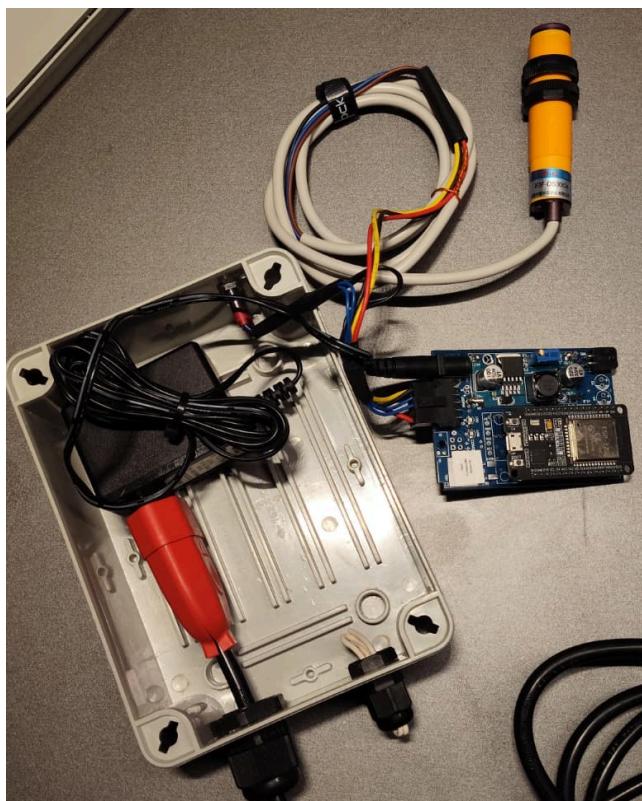
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2 – Protótipo físico do sistema de aquisição de dados



Fonte: Autor.

Figura 3 – Vista interna do protótipo com integração do ESP32, fonte de alimentação e conexões do sensor.



Fonte: Autor.

3.3 Software e Tecnologias

O firmware do microcontrolador foi desenvolvido utilizando as linguagens C/C++, por meio do Arduino IDE e do ambiente ESP-IDF, permitindo acesso eficiente aos recursos de hardware do ESP32 (ESPRESSIF SYSTEMS, 2023). A lógica de contagem foi implementada com uso de interrupções e filtros de software, visando reduzir leituras duplicadas e ruídos provenientes da variação da velocidade da esteira.

A comunicação entre o ESP32 e o servidor foi realizada por meio do protocolo MQTT, utilizando a biblioteca PubSubClient, que permite a troca de mensagens entre cliente e *broker* MQTT (Knolleary, 2019). As mensagens foram estruturadas no formato JSON, facilitando a interpretação e o armazenamento dos dados.

Para a persistência das informações, foi desenvolvido um script em linguagem Python responsável por subscrever os tópicos MQTT e inserir automaticamente os dados recebidos no banco de dados MySQL. Esse script atua como intermediário entre o broker MQTT e o banco de dados, garantindo automação e confiabilidade no armazenamento das informações.

A visualização dos dados foi implementada na plataforma *Home Assistant*, que se integrou ao broker MQTT e ao banco de dados, permitindo a criação de *dashboards* personalizados com indicadores de produção, gráficos temporais e status do sistema.

3.4 Procedimentos Experimentais e Avaliação de Desempenho

Os sistemas IoT são formados por objetos heterogêneos, por isso há uma necessidade de cautela durante a realização dos testes nesse tipo de produto (Menezes, 2018). A validação do sistema foi realizada por meio de testes progressivos, organizados em diferentes etapas.

Inicialmente, foram conduzidos testes unitários do sensor fotoelétrico, envolvendo a calibração da distância de detecção, análise do ângulo de incidência e verificação do desempenho em diferentes velocidades da esteira. Também foram realizados testes com frascos de diferentes cores e materiais, a fim de avaliar o impacto da reflexão da luz na confiabilidade da detecção.

Em seguida, foram realizados testes de comunicação para validar a transmissão de dados via MQTT, incluindo a conexão inicial com o broker utilizado no ambiente de desenvolvimento e, posteriormente, a migração para o broker configurado no servidor da empresa. Nessa etapa, verificou-se a estabilidade da comunicação tanto em rede interna quanto em acessos externos controlados.

A coleta de dados foi realizada de forma contínua e automatizada. A cada passagem de um produto pela região de detecção do sensor, um evento era identificado e processado pelo microcontrolador ESP32, que realizou a atualização da contagem local de unidades produzidas. Esses dados eram, então, organizados para posterior transmissão ao servidor por meio do protocolo MQTT.

Os ensaios foram realizados em trechos reais da linha de produção, considerando variações na velocidade da esteira e no posicionamento do sensor, de modo a avaliar a consistência e a precisão do sistema em diferentes condições operacionais, conforme práticas recomendadas para a análise de desempenho de sistemas automatizados de medição (Montgomery, 2016).

Com o objetivo de garantir a integridade das informações, o sistema foi projetado para manter a contagem local mesmo em situações de instabilidade ou indisponibilidade de rede. Nesses casos, os dados permanecem armazenados no dispositivo embarcado até que a comunicação seja restabelecida.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Implementação e Integração do Sistema

A implementação do sistema de contagem automatizada seguiu os requisitos levantados em visita técnica à unidade fabril da Industrias Unidas SM LTDA Alimentos. O desenvolvimento iniciou-se com a fase de prototipagem, na qual a seleção de hardware priorizou o equilíbrio entre custo e desempenho industrial. Optou-se pelo microcontrolador ESP32 em conjunto com um sensor fotoelétrico de presença NPN (modelo E3F-DS30C4), devido à sua robustez e compatibilidade com sinais industriais.

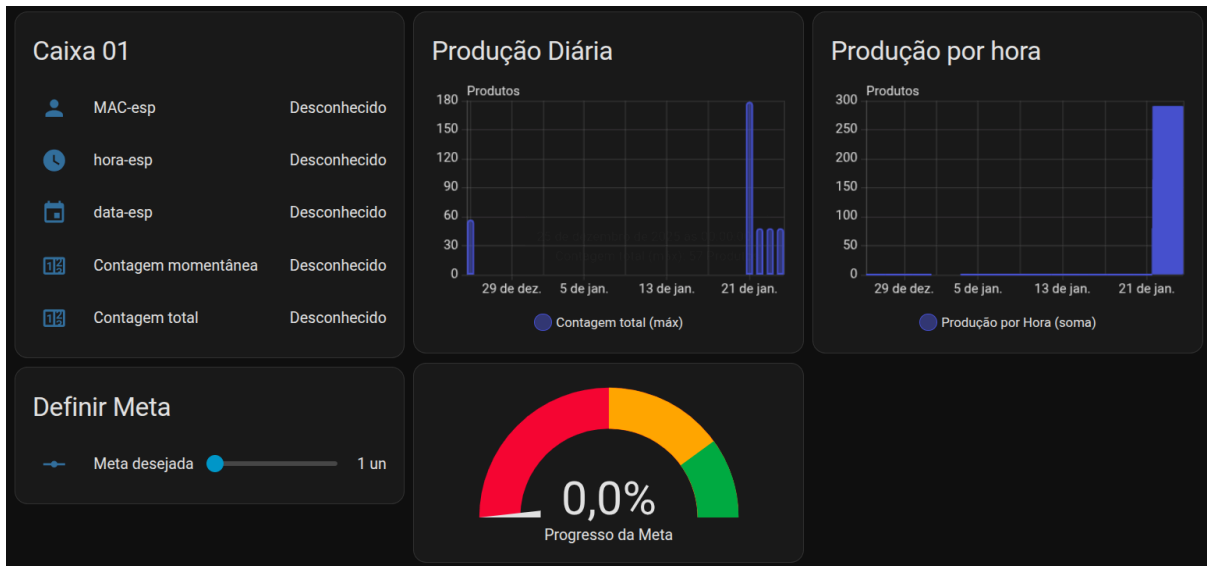
A arquitetura de software foi estruturada de forma modular, utilizando a ferramenta Git para controle de versionamento, processo crucial para garantir a qualidade e evitar erros de integração (Andrade *et al.*, 2024). A associação do hardware com o servidor MQTT permitiu o tráfego de dados em formato JSON, garantindo que as informações de contagem fossem transmitidas em tempo real para o banco de dados MySQL e para o *dashboard* de monitoramento.

4.2 Avaliação do Desempenho e Coleta de Dados

O sistema foi submetido a testes em ambiente controlado e em condições preliminares de operação na linha de produção. Observou-se que o firmware desenvolvido cumpre os requisitos de persistência de dados, mantendo a contagem mesmo em cenários de instabilidade ou perda momentânea de conexão com o Wi-Fi ou com o *broker* MQTT.

Os dados coletados pelo script Python foram registrados com sucesso no banco de dados MySQL, incluindo indicadores como quantidade produzida, registros de falhas e *timestamps*. Essa estrutura permite a futura integração com ferramentas de análise de dados, como o PowerBI, visando auditorias de produção e suporte à tomada de decisão gerencial.

Figura 4: *Dashboard* apresentado na plataforma *Home Assistant*



Fonte: Autor

4.3 Análise de Limitações e Discussão Técnica

Durante a fase experimental, identificou-se uma variação na acurácia da detecção em função das propriedades ópticas dos objetos monitorados. Como o sensor fotoelétrico E3F-DS30C4 opera por reflexão difusa (SENSOR FOTOELÉTRICO M18 NPN E3F-DS30C4, 2026), a detecção depende diretamente da luz que retorna ao detector integrado.

Os resultados evidenciaram que garrafas escuras, por absorverem o feixe infravermelho, e garrafas transparentes, por permitirem a passagem da luz, apresentaram índices de erro superiores em comparação a objetos opacos. Variações de ângulo e distância também impactaram a sensibilidade do sensor. Conforme aponta a literatura técnica, este é um comportamento esperado para sensores de reflexão difusa em superfícies não uniformes.

Para mitigar essa limitação, adotou-se a estratégia de reposicionamento do sensor para a detecção focada nas tampas das garrafas. Por possuírem cores mais previsíveis e superfícies planas, as tampas proporcionam uma reflexão mais estável. Esta solução prática elevou a confiabilidade da contagem, demonstrando que ajustes na instalação física são tão cruciais para a eficiência do sistema IoT quanto a lógica do firmware.

4.4 Viabilidade e Contribuições do Sistema

Em síntese, a solução apresentou resultados positivos nos seguintes aspectos:

- Estabilidade de Comunicação: O protocolo MQTT manteve a integridade das mensagens durante todos os ciclos de teste;
- Rastreabilidade: O uso do MySQL garantiu o histórico fidedigno da produção;
- Interface de Monitoramento: O *dashboard* na plataforma *Home Assistant* proveu visualizações responsivas e acessíveis em tempo real.

Os resultados obtidos indicam que o sistema possui alta aplicabilidade no contexto industrial da Industrias Unidas SM LTDA Alimentos, sendo capaz de reduzir falhas humanas no processo de contagem e fornecer indicadores operacionais precisos.

5. CONCLUSÃO

O trabalho de pesquisa alcança seu objetivo ao desenvolver um sistema IoT para contagem automatizada de produtos em linha de produção industrial, integrando sensor fotoelétrico de presença, microcontrolador ESP32, comunicação via protocolo MQTT, banco de dados relacional MySQL e *dashboards* de visualização em tempo real. A solução proposta demonstra viabilidade técnica e aplicabilidade prática no contexto industrial da empresa Industrias Unidas SM LTDA Alimentos, contribuindo para a automação do processo de contagem e para a geração de indicadores confiáveis de produção.

A implementação do sistema possibilita a identificação automática da quantidade total de produtos fabricados e o registro sistemático das informações de produção, reduzindo a dependência de processos manuais e, conseqüentemente, a ocorrência de erros humanos. A arquitetura modular foi adotada, pois favorece a manutenção, a escalabilidade e a replicação da solução em outras linhas produtivas ou em ambientes industriais semelhantes (Gobi, 2019).

Os testes realizados em ambiente controlado e em trechos reais da linha de produção evidenciam que o sistema apresenta desempenho consistente, mesmo diante de variações na velocidade da esteira e de instabilidades na conexão de rede. O mecanismo de tolerância a falhas implementado garante a continuidade da contagem local e a posterior sincronização dos dados, assegurando a integridade das informações armazenadas.

Uma limitação observada refere-se ao uso de sensores fotoelétricos de reflexão difusa, cuja eficiência é influenciada pelas características ópticas dos frascos, especialmente no caso

de embalagens muito escuras ou transparentes (Cavedo; Esmaili; Norgia, 2021). A estratégia de reposicionar o sensor para a detecção da tampa dos produtos mostrou-se eficaz para mitigar esse problema, aumentando a confiabilidade da contagem sem a necessidade de substituição do sensor.

Como contribuição, o estudo apresenta uma solução de baixo custo, baseada em tecnologias amplamente disponíveis, capaz de fornecer dados em tempo real para apoio à tomada de decisão e melhoria do controle de qualidade. Além disso, o armazenamento estruturado das informações cria uma base histórica que pode ser explorada por ferramentas de análise e inteligência de dados, ampliando o potencial de uso do sistema (Lee; Bagheri; Kao, 2015).

Para trabalhos futuros, propõe-se a instalação permanente do sistema na linha de produção e a ampliação dos indicadores disponibilizados nos *dashboards*. No que se refere à segurança da informação, evidencia-se a necessidade de implementar mecanismos avançados de segurança da informação na comunicação MQTT, como criptografia SSL/TLS, que desempenha um papel fundamental na garantia da confidencialidade e integridade dos dados transmitidos (Vieira; Rizzetti, S.D.). Ademais, recomenda-se a adoção de atualização remota de firmware por meio da tecnologia Over-The-Air (OTA), que permite gerenciar atualizações de software de forma remota (Escola *et al.*, 2021). Tais aprimoramentos tendem a elevar a robustez, a segurança e a longevidade da solução, consolidando sua aplicação em ambientes industriais de maior escala (Rahman *et al.* 2020).

REFERÊNCIAS

ALVARADO, N. et al. Analysis of a web-based dashboard to support the use of national audit data in quality improvement: Realist evaluation. *Journal of Medical Internet Research*, v. 23, n. 11, p. e28854, 2021.

ANDRADE, Francisco Adam; LIMA, Israely; PUGA, Leticia M.; PUGA, Laura M.; BARROS, Aline H. A.; RAMOS, Ana Livia N.; RABELO, Jacilane de H. Versionamento de projeto na prática com Git e GitHub: um relato de experiência do curso ofertado pelo Projeto LearningLab no interior cearense. In: WORKSHOP SOBRE EDUCAÇÃO EM COMPUTAÇÃO (WEI), 32., 2024. Anais do XXXII Workshop sobre Educação em

Computação. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024. DOI: 10.5753/wei.2024.2552. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/wei.2024.2552>. Acesso em: 27 jan. 2026.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.

CAVEDO, F.; ESMAILI, P.; NORRIGIA, M. Remote reflectivity sensor for industrial applications. *Sensors*, Basel, v. 21, n. 4, art. 1301, 11 fev. 2021. DOI: 10.3390/s21041301. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/4/1301>. Acesso em: 27 jan. 2026.

ESCOLA, João Paulo Lemos et al. Macoffee: sistema de monitoramento IoT para dispositivos over-the-air. *Revista de Tecnologia Aplicada (RTA)*, v. 10, n. 3, p. 33-47, set./dez. 2021. DOI: 10.48005/2237-3713rta2021v10n3p3347. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.48005/2237-3713rta2021v10n3p3347>. Acesso em: 27 jan. 2026.

ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP-IDF programming guide*. Shanghai, 2023. Disponível em: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/>. Acesso em: 27 jan. 2026.

GAYATHRI, J. et al. PLC driven conveyor and bottle filling system. *Advanced International Journal for Research (AIJFR)*, 2025. Disponível em: <https://www.aijfr.com/papers/2025/6/2152.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2026.

GOBI, Leonardo. Projeto e implementação de solução IoT modular com contingência local. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) — Universidade de Caxias do Sul, 2019. Disponível em: <https://repositorio.uces.br/xmlui/handle/11338/6307>. Acesso em: 27 jan. 2026.

HUNKELER, U.; TRUONG, H. L.; STANFORD-CLARK, A. MQTT-S — A publish/subscribe protocol for wireless sensor networks. In: IEEE International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops. Piscataway: IEEE, 2008. p. 791-798.

KNOLLEARY. Arduino Client for MQTT. [S.l.], 2019. Disponível em: <https://github.com/knolleary/pubsubclient>. Acesso em: 27 jan. 2026.

LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung-An. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, Amsterdam, v. 3, p. 18-23, jan. 2015. DOI: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001.

LEAL, I. F. M.; FARIAS, M. F. A.; QUEIROZ, T. M.; SOBRINHO, A. F. S.; MORAIS, R. M. A. Proposta de automação e controle da contagem de objetos e identificação de falhas em esteira transportadora. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 12, p. 166–174, 2021.

MAGRANI, Eduardo José Guedes. *A internet das coisas: privacidade e ética na era da hiperconectividade*. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018.

MENEZES, Liana Mara Carvalho de. Um mapeamento sistemático de testes para aplicações IoT. 2018. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Software) – Campus de Russas, Universidade Federal do Ceará, Russas, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/39047>. Acesso em: 27 jan. 2026.

MONTGOMERY, Douglas C. *Introduction to statistical quality control*. 7. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.

OPEN HOME FOUNDATION. Concepts and terminology. Disponível em: <https://www.home-assistant.io/getting-started/concepts-terminology/>. Acesso em: 24 jan. 2026.

ORACLE CORPORATION. *MySQL 8.0 Reference Manual*. Redwood Shores, CA: Oracle Corporation, 2024. Disponível em: <https://dev.mysql.com/doc/>. Acesso em: 27 jan. 2026.

PIRES, Luis Fernando. Banco de dados para IoT: uma abordagem analítica sobre desempenho e eficiência. *Database for IoT: an analytical approach to performance and efficiency*. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciências da Computação) — Centro Universitário Campo Limpo Paulista (UNIFACCAMP), Campo Limpo Paulista, 2025.

RAHMAN, M. M.; ISLAM, M. A.; KWAK, K. S. Secure over-the-air firmware updates for internet of things devices: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 2020.

SEOANE, S. P.; HERNÁNDEZ-RAMOS, J. L.; JARA, A. J.; SKARMETA, A. F. Performance evaluation of COAP and MQTT with security support for IoT environments. *Computer Networks*, 197:108278, 2021.

Sensor Fotoelétrico M18 NPN E3F-DS30C4. Module photoelectric proximity sensor E3F-DS30C4: diffuse reflection type, up to 30 cm detection distance, 6-36 V DC, NPN output. Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/sensor-fotoeletrico-m18-npn-e3f-ds30c4>. Acesso em: 27 jan. 2026.

TAKAWADE, Sonali Subhash et al. Automatic counting machine with IR-sensor based counting machine in sorting areas using conveyor belt. *International Journal of Innovative Research in Engineering*, Karnataka, v. 5, n. 2, p. 119-125, mar. 2024. DOI: 10.59256/ijire.20240502014.

VIEIRA, Emanuel de Franceschi; RIZZETTI, Tiago Antonio. Impacto da criptografia de dados na eficiência energética em dispositivos IoT que utilizam o protocolo MQTT. [s.d.]. Trabalho acadêmico. Curso Superior de Tecnologia em Redes de Computadores — Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.

XAVIER, A. B.; CANDIDO, K. H. F.; ROBERTO, J. C. A.; SOUTO, S. P. A automação industrial como solução e não como ameaça aos trabalhadores. *Revista de Gestão e Secretariado*, v. 14, n. 6, p. 9019–9032, 2023. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i6.2278>.

YUAN, Michael. Conhecendo o MQTT: Por que o MQTT é um dos melhores protocolos de rede para a Internet das Coisas, 4 out. 2017. Disponível em: <https://developer.ibm.com/br/technologies/iot/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/>. Acesso em: 27 jan. 2026.