

## **Aplicação de tecnologias IoT no monitoramento supervisorío de tanques de glucose em ambiente industrial**

Application of IoT technologies in supervisory monitoring of glucose tanks in an industrial environment

João Lucas de Castro Batista <sup>1</sup>  
João Antônio Oliveira Guedes <sup>2</sup>  
Hyago Philip Pereira dos Santos <sup>3</sup>  
Tanhleno Teixeira de Sousa <sup>4</sup>  
Ailton Deuzimar de Sousa Junior <sup>5</sup>  
Ivanilson França Vieira Junior <sup>6</sup>  
João Moreno Vilas Boas de Souza Silva <sup>7</sup>

### **Resumo**

Este artigo descreve o desenvolvimento de um sistema supervisorío baseado em Internet das Coisas (IoT) aplicado ao monitoramento de tanques de glucose em um ambiente industrial do setor alimentício. O trabalho tem como objetivo propor uma solução capaz de centralizar e disponibilizar, em tempo real, informações operacionais do setor de armazenamento e transferência de glucose, incluindo o estado das válvulas responsáveis pelo direcionamento do fluxo entre tanques e linhas de produção, bem como o funcionamento das bombas utilizadas na circulação do produto. Essas variáveis estão diretamente associadas às etapas de abastecimento, armazenamento e envio da glucose para o processo produtivo, sendo fundamentais para o controle operacional no ambiente industrial. A metodologia adotada envolveu a concepção de uma arquitetura composta por microcontroladores com conectividade Wi-Fi, sensores industriais para aquisição de dados em campo, o protocolo de comunicação MQTT para transmissão das informações e uma plataforma web desenvolvida para visualização e supervisão do processo. O *backend* do sistema foi implementado utilizando o framework Django, sendo responsável pelo processamento, validação e armazenamento dos dados em um banco de dados relacional, enquanto o *frontend* possibilita o acompanhamento do sistema em tempo real por meio de interfaces gráficas intuitivas. Os

<sup>1</sup> Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: jolbatista63@gmail.com

<sup>2</sup> Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: joao.antonio05@outlook.com

<sup>3</sup> Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: hyagophilip@gmail.com

<sup>4</sup> Discente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: tts.tanhleno@gmail.com

<sup>5</sup> Docente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: ailton.sousa@ifrn.edu.br

<sup>6</sup> Docente do Curso de Formação Inicial e Continuada (Curso FIC) em Residência Tecnológica em Software Embarcado, na modalidade a distância. e-mail: ivanilson.junior@ifrn.edu.br

<sup>7</sup> 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

resultados obtidos demonstram que a solução proposta é capaz de realizar a coleta, transmissão, tratamento e apresentação dos dados de forma consistente, atendendo às necessidades identificadas pela indústria parceira. Conclui-se que o sistema supervisório desenvolvido constitui uma base tecnológica viável para a modernização do monitoramento industrial, mesmo em ambientes de elevado controle sanitário.

**Palavras-chave:** Sistema supervisório; Internet das Coisas; Sensor; MQTT; Fábrica.

## Abstract

This article describes the development of a supervisory system based on the Internet of Things (IoT) applied to the monitoring of glucose tanks in an industrial environment within the food sector. The study aims to propose a solution capable of centralizing and providing, in real time, operational information from the glucose storage and transfer sector, including the status of the valves responsible for directing the flow between tanks and production lines, as well as the operation of the pumps used in product circulation. These variables are directly associated with the stages of glucose supply, storage, and transfer to the production process, being essential for operational control in the industrial environment. The adopted methodology involved the design of an architecture composed of Wi-Fi-enabled microcontrollers, industrial sensors for field data acquisition, the MQTT communication protocol for information transmission, and a web platform developed for process visualization and supervision. The system backend was implemented using the Django framework, being responsible for data processing, validation, and storage in a relational database, while the frontend enables real-time system monitoring through intuitive graphical interfaces. The obtained results demonstrate that the proposed solution is capable of consistently performing data collection, transmission, processing, and presentation, meeting the needs identified by the partner industry. It is concluded that the developed supervisory system constitutes a viable technological foundation for the modernization of industrial monitoring, even in environments with high sanitary control requirements.

**Keywords:** Supervisory System; Internet of Things; Sensor; MQTT; Factory.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente adoção de tecnologias embarcadas no ambiente industrial tem transformado a forma como os processos produtivos são gerenciados. Nesse contexto, o uso de automações e de IoT tem-se consolidado como uma estratégia ideal para aplicações em qualquer cenário industrial (Singh *et al.*, 2025).

No setor alimentício, essa necessidade torna-se ainda mais evidente, uma vez que os processos envolvem matérias-primas sensíveis, exigências sanitárias rigorosas e elevado impacto operacional em caso de falhas (Ahmed *et al.*, 2025). O armazenamento e a manipulação de glicose, insumo químico amplamente utilizado na indústria de doces e foco deste projeto, exige controle preciso de variáveis como temperatura e fluxo.

Apesar dos avanços tecnológicos disponíveis, observa-se que muitos ambientes industriais ainda operam com baixa integração entre sensores, sistemas de comunicação e plataformas de visualização de dados. Essa lacuna evidencia a falta de centralização e atualização em tempo real das informações operacionais, o que dificulta a análise do processo e a tomada de decisões fundamentadas e a escalabilidade da empresa como um todo (Joshi, 2025).

Diante disso, este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema supervisor baseado em IoT para o monitoramento de tanques de glicose em ambiente industrial, utilizando sensores, microcontroladores com conectividade Wi-Fi e o protocolo MQTT para comunicação de dados. O projeto também engloba a disponibilização dessas informações por meio de uma plataforma web, permitindo a visualização em tempo real das variáveis monitoradas e estabelecendo uma base tecnológica para futuras expansões do sistema.

A justificativa desta pesquisa reside na relevância de um sistema de monitoramento responsivo, uma vez que o projeto desenvolvido contribui para a aplicação de arquiteturas IoT em ambientes industriais reais, além de oferecer uma solução inicial para a modernização do monitoramento de processos no setor alimentício. Delimita-se como objeto de estudo o desenvolvimento e a avaliação de um sistema supervisor IoT aplicado ao monitoramento de tanques de glicose, considerando suas potencialidades, limitações e perspectivas de evolução.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A base teórica deste trabalho sustenta-se na transição dos processos industriais convencionais para o paradigma da Indústria 4.0, em que a conectividade e a visibilidade de dados são pilares essenciais para a eficiência produtiva.

### **2.1 Sistemas embarcados e automação industrial**

A Quarta Revolução Industrial é caracterizada pela integração de tecnologias digitais aos processos físicos. No ambiente fabril, a IoT - Internet das Coisas Industrial atua como ponte que permite a interconexão de objetos cotidianos e equipamentos de produção com a rede mundial de computadores. Segundo Joshi (2025), a implementação de sistemas embarcados robustos é o que permite a redução da latência em processos críticos, transformando linhas de produção antes "opacas" em sistemas transparentes e baseados em dados em tempo real. Essa transição é fundamental para mitigar o que se define como

"cegueira técnica", em que a falta de informações centralizadas impede a detecção preventiva de falhas e compromete a agilidade operacional.

## 2.2 Monitoramento de ativos manuais e integração IoT

Embora a implementação de sistemas embarcados e da IIoT tenha como objetivo principal substituir intervenções manuais por soluções automatizadas, visando maior eficiência e segurança (ENOW *et al.*, 2023), a transparência de dados mencionada na seção anterior ainda não é total na infraestrutura industrial atual. Como apontam Agarwal *et al.* (2016), o controle da configuração em fábricas complexas muitas vezes ainda depende de verificações físicas. Isso acontece porque um grande número de equipamentos, como válvulas e registros, continua sendo operado manualmente e não possui sensores de fábrica para enviar informações sobre seu estado para à rede.

Essa falta de comunicação entre os equipamentos manuais e o sistema digital contribui para a "cegueira técnica", o que dificulta a prevenção de falhas. Um exemplo crítico dessa situação ocorre no setor de energia nuclear, em que a dependência de verificações visuais expõe a operação a riscos. A falta de um retorno automático sobre o estado dos equipamentos obriga as empresas a manter equipes técnicas dedicadas à verificação manual de componentes críticos, como válvulas e registros, apenas para confirmar se estes se encontram abertos ou fechados.

No contexto do setor de armazenamento e processamento de glucose, essa dependência de inspeções presenciais dificulta o acompanhamento contínuo do fluxo do produto entre tanques e linhas de produção, aumentando o tempo de resposta a falhas e reduzindo a eficiência operacional. Conforme discutido por Agarwal *et al.* (2016), esse cenário resulta em desvantagens econômicas e operacionais relevantes, as quais motivam a adoção de soluções baseadas em IoT. Sobre os impactos dessa dependência, os autores destacam:

No modelo operacional atual [...], a gestão da configuração da planta é altamente dependente de grandes equipes técnicas. Essa dependência ocorre porque as usinas possuem um grande número de sistemas e muitas operações são realizadas manualmente. [...] Isso coloca a energia [do setor] em uma desvantagem econômica de longo prazo [...] além de apresentar oportunidades de erro humano, impactos na conformidade regulatória e riscos à segurança pessoal (Agarwal *et al.*, 2016, p. 2, tradução nossa).

Para solucionar essa falta de visibilidade e integrar os componentes manuais à rede de dados, Agarwal *et al.* (2016) propõem a automação da indicação de posição por meio de

sensores externos. Os autores descrevem o desenvolvimento de um sistema que utiliza sensores do tipo MagnetoPot, os quais funcionam como potenciômetros ativados por ímãs, permitindo detectar a posição de válvulas sem a necessidade de contato mecânico direto ou substituição do equipamento.

De forma alinhada a essa abordagem, o presente projeto adota sensores magnéticos industriais do tipo chave magnética para identificar o estado de abertura ou fechamento das válvulas do sistema de glucose. Esses sensores possibilitam a digitalização de ativos originalmente manuais e o envio das informações de estado, via comunicação sem fio, para o sistema supervisório, assegurando rastreabilidade operacional e atendendo aos requisitos de segurança do ambiente industrial.

### **2.3 Protocolos de comunicação e eficiência em sistemas embarcados**

Para que a IIoT seja viável em ambientes industriais, a escolha do protocolo de comunicação é determinante. O protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) destaca-se como o padrão de mercado devido à sua ampla adoção em aplicações M2M/IoT, sendo extremamente leve e otimizado para redes com restrições de largura de banda ou alta latência (Mishra, 2020).

O uso de microcontroladores de baixo custo e alta eficiência, como o ESP8266, aliado ao modelo de publicação/assinatura do MQTT, permite que dados de sensores (nível, temperatura e estado de válvulas) sejam transmitidos de forma contínua, eficiente e com desempenho superior a abordagens tradicionais baseadas em HTTP (Cunha, 2022).

Além disso, a arquitetura do MQTT prevê mecanismos que asseguram a integridade e a confiabilidade da informação, mesmo em ambientes de comunicação potencialmente hostis (Oasis, 2019). Isso possibilita um controle digital mais rápido e preciso do que os métodos manuais tradicionais.

### **2.4 Segurança e qualidade na indústria de alimentos via IoT**

A aplicação da IoT no setor alimentício vai além da eficiência produtiva, abrangendo diretamente a segurança alimentar e o controle de riscos. De acordo com Singh *et al.* (2025), sistemas inteligentes de monitoramento são cruciais para assegurar a conformidade com padrões rigorosos de higiene e operação. Ahmed *et al.* (2025) reforçam que a vigilância em tempo real em ambientes industriais perigosos ou sensíveis (como o armazenamento de

glucose, que exige controle térmico e de fluxo constante) reduz drasticamente o risco de falhas catastróficas.

Portanto, a digitalização do monitoramento de pontos críticos de controle não apenas otimiza o uso de insumos, mas também estabelece uma camada de proteção essencial para a manutenção da qualidade do produto final.

### **3 METODOLOGIA**

O escopo do projeto abrange as necessidades de uma indústria alimentícia voltada à produção de doces, a Simas Industrial de Alimentos S/A, com foco específico em seu sistema industrial de armazenamento e distribuição de glucose. Esse sistema é composto por tanques de armazenamento, tubulações de fluxo, bombas injetoras e válvulas responsáveis pelo controle do processo, os quais operam de acordo com estados previamente definidos. Dependendo da configuração operacional, os tanques podem abastecer diretamente o chão de fábrica ou receber o insumo, seja por meio de novos fornecimentos externos ou pela redistribuição interna entre unidades de armazenamento.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, o trabalho configura-se como um estudo de caso, realizado no contexto de uma indústria do setor alimentício, com foco no monitoramento do sistema de armazenamento de glucose por meio da aplicação de tecnologias de IoT.

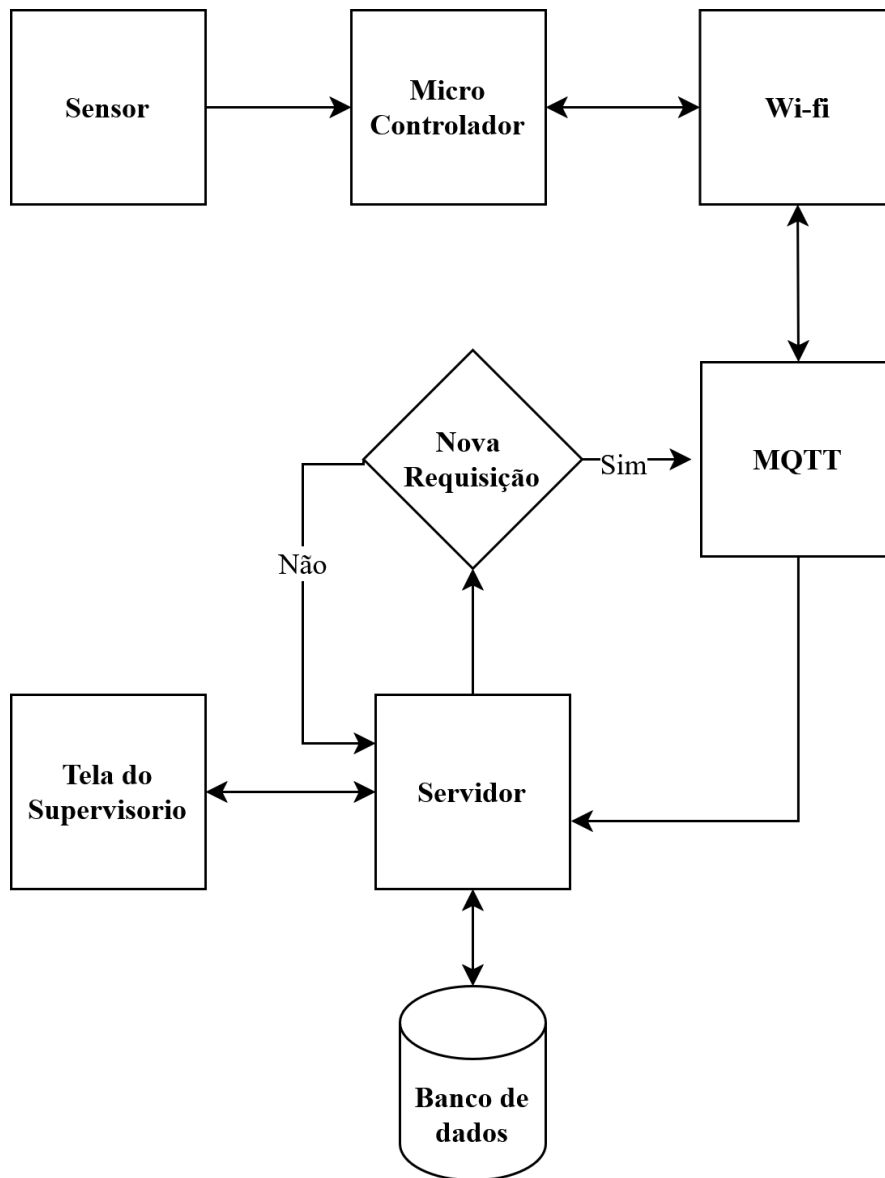
O desenvolvimento do projeto foi conduzido por meio de etapas e objetivos semanais. Inicialmente, realizou-se o levantamento dos requisitos do sistema, a partir da observação do processo industrial e da identificação das variáveis relevantes para o monitoramento. Em seguida, definiu-se a arquitetura geral da solução, contemplando a integração entre sensores, microcontroladores, protocolos de comunicação e envio, *backend* de processamento e uma plataforma web para visualização dos dados.

A partir de um esboço inicial da solução, foram definidas as tecnologias empregadas no desenvolvimento do sistema. O processamento e o gerenciamento dos dados foram implementados por meio do framework Django, em linguagem Python, aliado a um banco de dados relacional SQL para armazenamento e organização das informações. A utilização de contêineres Docker possibilitou o isolamento dos serviços e a padronização do ambiente de desenvolvimento. Para a visualização dos dados e interação com o sistema supervisorio, foi desenvolvido um portal web utilizando HTML e CSS para estruturação e formatação das páginas, bem como JavaScript para o controle das funcionalidades dinâmicas da interface.

No que se refere ao desenvolvimento do software embarcado, adotou-se o protocolo MQTT como meio de comunicação entre os dispositivos de campo e o servidor. A transmissão dos dados ocorre por meio de rede Wi-Fi, enquanto a lógica embarcada responsável pela aquisição e envio das informações foi desenvolvida em linguagem C++, compatível com os microcontroladores utilizados no projeto.

A infraestrutura física do sistema é composta por microcontroladores do tipo ESP8266, responsáveis pela leitura dos sensores instalados no processo e pela transmissão dos dados coletados. Os sensores empregados, como o MaxBotix MB7851 (sensor de nível), WEG SSM5-30R1P2A (sensor magnético) e o ZMPT101B (sensor de tensão), realizam a medição de variáveis essenciais ao funcionamento do sistema, nível de armazenamento da glucose, estado das válvulas de controle de fluxo e funcionamento das bombas. Além disso, foram utilizados componentes eletrônicos de suporte, como resistores, fios e placas de prototipagem, necessários para a montagem e a prototipagem do sistema de aquisição de dados.

Figura 1 - Arquitetura



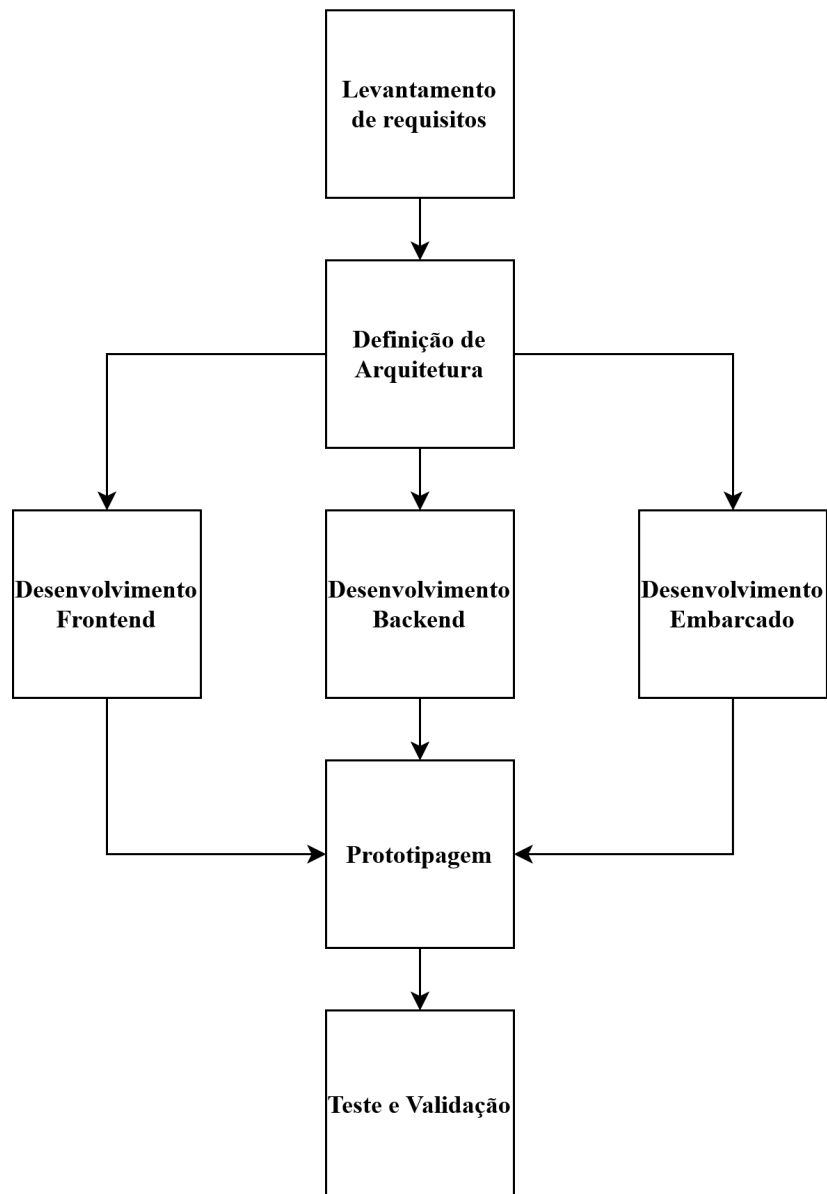
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Como mostrado na Figura 1, o processo inicia-se com a leitura dos sensores instalados nos equipamentos do setor de glicose, cujos dados são capturados pelo microcontrolador e em seguida, essas informações são transmitidas via conexão Wi-Fi utilizando o protocolo MQTT. Ao chegar ao servidor, os dados passam por uma etapa de verificação, na qual é avaliada a ocorrência de uma nova requisição. Caso seja identificada uma atualização, as informações são publicadas via MQTT e processadas pelo servidor, sendo posteriormente armazenadas no banco de dados. Na ausência de novas requisições, o sistema mantém os dados já registrados. Por fim, as informações processadas são disponibilizadas na tela do

supervisório, permitindo ao operador o acompanhamento em tempo real do estado dos sensores, válvulas e demais variáveis monitoradas.

Por último, a validação da solução proposta foi realizada por meio de testes funcionais de cada parte do projeto, envolvendo a comunicação entre os componentes, a leitura dos sensores, a transmissão das mensagens via MQTT, o armazenamento dos dados e sua apresentação no sistema supervisório.

Figura 2 - Metodologia



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Como demonstrado na Figura 2, o projeto contempla a etapa de levantamento de requisitos, na qual são identificadas as necessidades da indústria parceira e as funcionalidades

esperadas do sistema. Em seguida, é realizada a definição da arquitetura, contemplando a estrutura de hardware, software e comunicação entre os módulos do sistema.

A partir da arquitetura definida, o desenvolvimento é conduzido de forma paralela em três frentes principais: *frontend*, *backend* e sistema embarcado. O desenvolvimento do *frontend* concentra-se na criação das interfaces gráficas e mecanismos de visualização dos dados, enquanto o *backend* é responsável pelo processamento, validação e armazenamento das informações. Já o desenvolvimento embarcado trata da aquisição dos dados por meio dos sensores e da comunicação com o servidor.

Após essas etapas, os módulos desenvolvidos são integrados na fase de prototipagem, permitindo a verificação conjunta do funcionamento do sistema. Por fim, são realizados os testes e a validação, com o objetivo de avaliar o desempenho, a confiabilidade da comunicação e a aderência do sistema aos requisitos previamente definidos.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES OU ANÁLISE DOS DADOS**

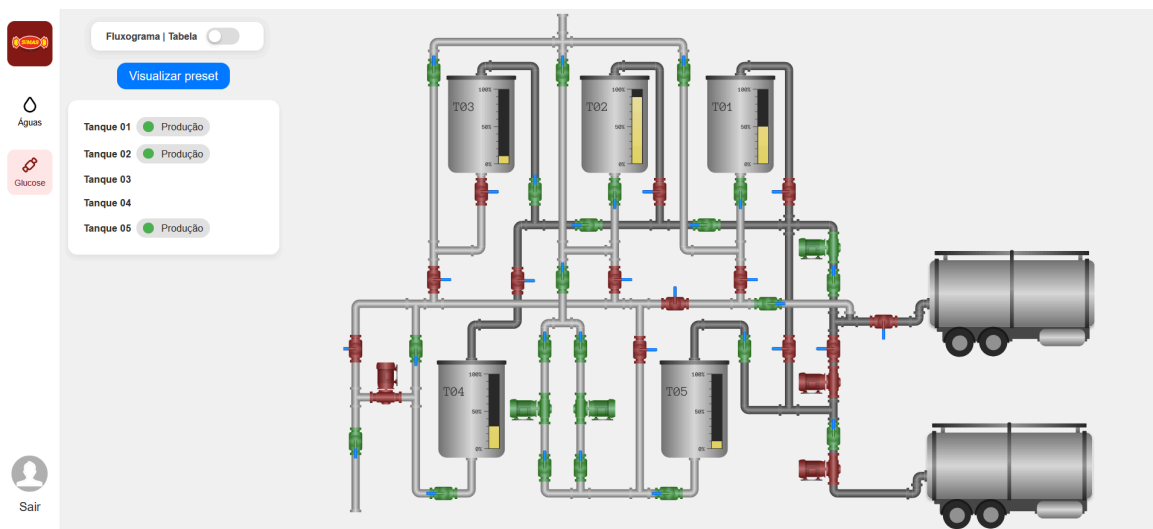
As análises dos resultados concentram-se na avaliação do funcionamento da arquitetura desenvolvida e da prototipagem. Além disso, são discutidas as limitações identificadas ao longo da implementação, decorrentes tanto do caráter parcial do projeto quanto das restrições operacionais impostas pelo ambiente industrial real, buscando relacionar esses aspectos aos objetivos definidos na pesquisa e às possibilidades de evolução futura do sistema.

### **4.1 Resultados obtidos com a implementação do sistema supervisório**

A implementação do sistema supervisório proposto permite a integração entre sensores industriais, microcontroladores e infraestrutura de comunicação, viabilizando o monitoramento em tempo real das variáveis associadas ao sistema de armazenamento e distribuição de glucose. Os testes realizados consistiram na validação da leitura dos sensores, na verificação da comunicação entre os microcontroladores e o broker MQTT, bem como na análise do processamento e armazenamento dos dados no *backend*. Adicionalmente, foram conduzidos testes de atualização da interface web, a fim de confirmar a exibição correta e contínua das informações em tempo real. Os resultados obtidos indicam que a arquitetura desenvolvida é capaz de coletar, transmitir, processar e apresentar os dados de forma consistente, atendendo aos objetivos iniciais do projeto.

No ambiente de visualização, conforme figuras abaixo, o portal web apresenta o estado operacional dos componentes monitorados, válvulas, bombas e tanques, acompanhado das informações necessárias para a interpretação correta de seus estados atuais. As informações recebidas via protocolo MQTT, como visto na Figura 7, são interpretadas pelo *backend* e armazenadas no banco de dados relacional, permitindo a manutenção de registros históricos e a organização estruturada dos dados.

Figura 3 - Visão geral do supervisório



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 4 - Visualização em tabelas

Válvulas:					
Válvula	Situação	Válvula	Situação	Válvula	Situação
A01	Fechada	B05	Aberta	G02	Aberta
A02	Fechada	B06	Aberta	P01	Aberta
A03	Aberta	B07	Aberta	P02	Aberta
A04	Fechada	B08	Aberta	P03	Aberta
A05	Aberta	B09	Aberta	P04	Aberta
A06	Aberta	C01	Aberta	V01	Aberta
A07	Fechada	C02	Fechada	V02	Aberta
A08	Aberta	C03	Fechada	V03	Fechada
B01	Fechada	C04	Fechada	V04	Aberta
B02	Aberta	C05	Fechada	V05	Aberta
B03	Fechada	C06	Fechada		
B04	Fechada	G01	Aberta		

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 5 - Tela para emissão de relatórios

**Relatório de Atividades Glucose**  
Selecione o intervalo de data e hora para gerar o relatório em PDF.

**DATA E HORA DE INICIO**  
dd/mm/yyyy HH:MM

**DATA E HORA DE FIM**  
dd/mm/yyyy HH:MM

**GERAR RELATÓRIO**

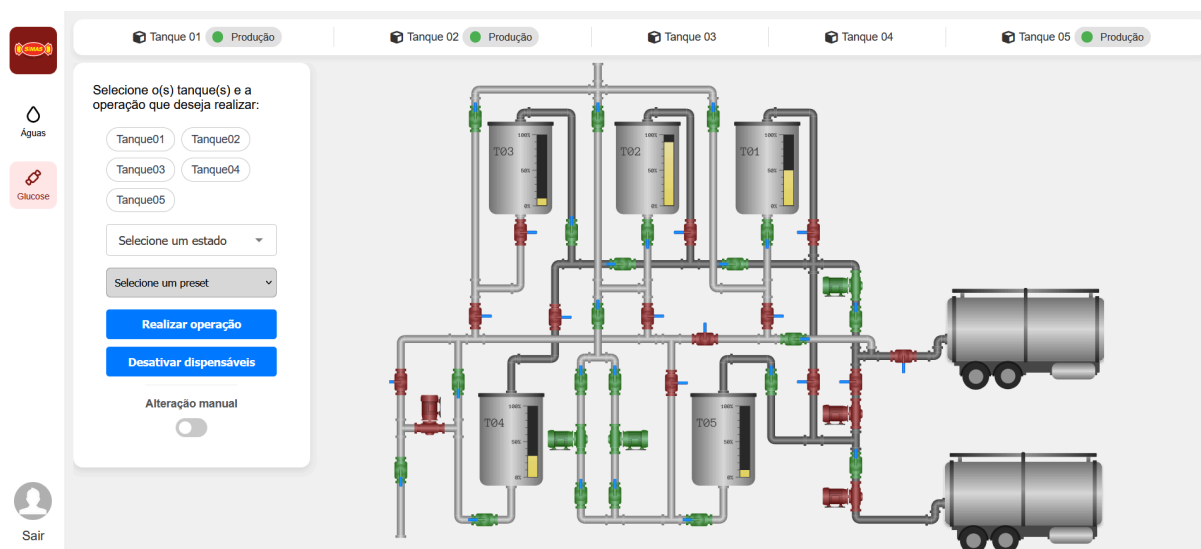
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 6 - Card informativo

	Tensão	Corrente
Fase R	220 V	10 A
Fase S	219 V	11 A
Fase T	221 V	10 A
Vazão	45 L/m	

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 7 - Tela de operações



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

## 4.2 Análise do funcionamento e da comunicação dos dados

No que se refere à comunicação entre os dispositivos de campo e o servidor, observou-se que o uso do protocolo MQTT mostrou-se adequado para a aplicação proposta, pelo seu baixo consumo de recursos e transmissão rápida das mensagens. Durante os testes, não foram identificadas perdas significativas de dados, e o tempo de atualização das informações no supervisão mostrou-se compatível com a necessidade de monitoramento em tempo real do processo industrial.

A organização dos dados no banco de dados permitiu uma análise qualitativa e temporal do comportamento do sistema, evidenciando a confiabilidade da leitura dos sensores e a estabilidade da comunicação entre os diferentes módulos. Embora não tenham sido gerados, nesta etapa, gráficos ou métricas quantitativas extensas em função da limitação na quantidade de sensores instalados, os resultados obtidos foram suficientes para validar o fluxo de informações e o correto funcionamento da arquitetura proposta.

## 4.3 Limitações e implicações dos resultados

Apesar dos resultados positivos, algumas limitações devem ser consideradas. A principal delas está relacionada ao caráter parcial do projeto, uma vez que a quantidade de sensores instalados ainda é reduzida, o que inviabiliza a obtenção de análises quantitativas mais robustas, como gráficos comparativos e métricas de desempenho ao longo do tempo.

Além disso, parte do funcionamento do sistema foi validada em ambiente de prototipagem, não contemplando todas as condições operacionais do ambiente industrial real.

A complexidade operacional do setor de armazenamento e distribuição de glucose impôs desafios relevantes à definição e à execução do método adotado, especialmente no que se refere à instalação dos sensores responsáveis pelo monitoramento das variáveis críticas do processo. O sistema proposto utiliza sensores magnéticos industriais para a identificação do estado de abertura e fechamento das válvulas de controle de fluxo, sensores de nível para a estimativa do volume de glucose armazenado nos tanques e sensores de tensão para a detecção do funcionamento das bombas associadas ao sistema.

Esses dispositivos atuam de forma não intrusiva, permitindo a aquisição das informações sem a necessidade de modificações estruturais significativas na planta industrial. No entanto, as características físicas do ambiente, como a extensão e a altura das tubulações, dificultam o planejamento do cabeamento e o acesso direto aos pontos de medição, exigindo soluções compatíveis com as restrições estruturais e operacionais existentes.

Outro aspecto considerado durante a definição da metodologia está relacionado à diversidade e à quantidade de válvulas presentes no sistema. A existência de diferentes modelos e padrões de válvulas demanda abordagens específicas para a instalação dos sensores, o que inviabiliza a adoção de um único protótipo de instrumentação para todo o conjunto. Dessa forma, optou-se por uma estratégia de prototipagem gradual, permitindo a validação do método de monitoramento em pontos selecionados do sistema antes de uma eventual ampliação para as demais válvulas.

Além disso, o funcionamento contínuo da planta industrial influenciou diretamente as decisões metodológicas adotadas. O sistema de glucose constitui um dos setores mais críticos da fábrica, não sendo possível interromper sua operação para a realização das instalações. Assim, todo o processo de implementação e validação dos sensores foi planejado para ocorrer de forma concomitante ao funcionamento normal dos tanques, garantindo a não interrupção da produção e respeitando as restrições operacionais do ambiente industrial. As figuras abaixo mostram parte do setor em processo de fabricação, onde as tubulações estão conectadas aos tanques de glucose e o controle de fluxo sendo gerenciado pelas válvulas e bombas, também conectadas à tubulação.

Figura 8 - Foto das válvulas utilizadas na empresa



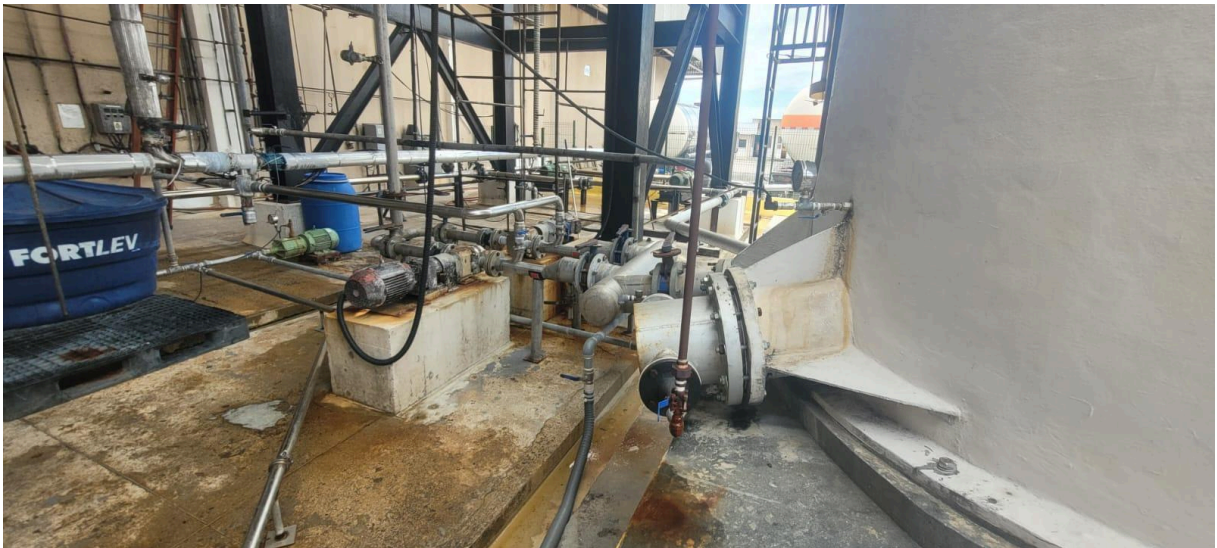
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 9 - Foto do encanamento de glucose na empresa



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 10 - Foto das bombas e de um dos tanques de glucose na empresa



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ainda assim, os resultados obtidos são relevantes, pois demonstram a viabilidade técnica da solução proposta e estabelecem uma base sólida para a continuidade do projeto. Embora a validação do fluxo de dados não tenha sido realizada, neste estágio, por meio de sensores instalados em campo, o funcionamento da arquitetura foi verificado a partir do uso de uma planilha eletrônica contendo dados simulados do processo. Esses dados foram utilizados para testar a transmissão, o processamento e o armazenamento das informações, bem como sua correta visualização no sistema supervisorio em tempo real.

Dessa forma, foi possível confirmar que o sistema desenvolvido pode ser expandido futuramente para incorporar sensores reais, métricas quantitativas e funcionalidades de automação, ampliando seu impacto no contexto industrial analisado.

#### **4.4 Comparação com trabalhos relacionados**

O trabalho apresentado por He *et al.* (2025), propõe uma arquitetura IoT-SCADA para monitoramento e controle de sistemas fotovoltaicos em tempo real, utilizando microcontroladores ESP32 e o protocolo MQTT para integrar diferentes plataformas e enviar dados para dashboards na nuvem. Assim como no presente projeto, observa-se a eficácia do MQTT na transmissão de dados leves e frequentes, embora o foco deste trabalho esteja em sistemas de geração distribuída de energia, enquanto o nosso foca no monitoramento industrial de tanques de glucose.

De forma complementar, Hendrawati *et al.* (2025) desenvolveram um sistema IoT que combina controladores lógicos programáveis (PLCs), módulos HMI (Interface Humano

Máquina) e comunicação MQTT para monitorar e controlar a altura de carga em ambiente industrial em tempo real. Este estudo destaca a importância de interfaces web e mobile para visualização de dados e controle, semelhante à plataforma web apresentada no trabalho atual, porém com maior ênfase em controle automático via HMI.

Ray (2018), reforça essa perspectiva ao analisar diferentes arquiteturas IoT aplicadas a ambientes industriais e sistemas ciberfísicos. O autor destaca que soluções IoT são particularmente adequadas para aplicações de monitoramento e supervisão, nas quais não há exigência de controle determinístico rigoroso, característica típica de sistemas baseados exclusivamente em CLPs. De acordo com o estudo, a utilização de plataformas abertas e dispositivos embarcados reduz substancialmente o investimento inicial, tornando a tecnologia acessível a pequenas e médias indústrias. Essa análise é compatível com a proposta deste trabalho, que prioriza a coleta e visualização de dados operacionais em tempo real sem substituir sistemas críticos de controle já existentes.

## **5 CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A realização deste trabalho permite concluir que o sistema supervisório desenvolvido cumpriu o objetivo central de viabilizar o monitoramento remoto dos tanques de glucose. A arquitetura proposta, ao integrar microcontroladores e protocolo MQTT, demonstrou eficácia na coleta e transmissão de dados, confirmando a hipótese de que a solução apresenta viabilidade técnica e operacional para atender ao desafio proposto pela indústria parceira.

Os resultados indicam uma redução efetiva da "cegueira técnica" operacional. A leitura automática dos sensores confere maior confiabilidade à gestão da planta, garantindo que os operadores visualizem o estado real das válvulas e bombas instantaneamente. Além disso, a estabilidade observada na transmissão de dados valida a escolha do protocolo MQTT, que se mostrou robusto para manter o fluxo de informações contínuo entre os dispositivos de campo e o servidor.

Do ponto de vista prático, o sistema estabelece uma base tecnológica escalável, permitindo que a indústria inicie sua transição para a Indústria 4.0 de forma gradual, sem a necessidade de paradas na produção ou troca onerosa de equipamentos antigos. O estudo comprova a viabilidade da adaptação tecnológica em ativos manuais, demonstrando que a digitalização do monitoramento é possível mesmo em equipamentos sem automação nativa.

Contudo, a pesquisa evidencia que a expansão da solução em plantas industriais tradicionais enfrenta desafios de integração física. A complexidade observada na adaptação aos equipamentos existentes leva à conclusão de que a modernização via IoT não depende

apenas da validação eletrônica, mas exige também métodos de instalação mecânica não invasivos para viabilizar a modernização sem interromper o fluxo produtivo.

Para trabalhos futuros, sugere-se explorar a arquitetura modular do projeto para desacoplar ainda mais o *backend* do *frontend*, facilitando o desenvolvimento de aplicativos móveis que ofereçam portabilidade total aos operadores e integridade real aos recursos desses aparelhos. Recomenda-se também aproveitar a escalabilidade do sistema para integrar o monitoramento de outros setores da indústria, unificando a gestão dos ativos fabris. Por fim, indica-se a implementação de novos recursos e ajustes conforme novas demandas operacionais forem reveladas pela rotina informatizada.

## REFERÊNCIAS

AGARWAL, V. *et al.* **Intelligent Plant Configuration Management Using Wireless Sensors**. Proceedings of the 2016 24th International Conference on Nuclear Engineering, Charlotte, USA, ICONE24-60815, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7583693>. Acesso em: 16 jan. 2026.

AHMED, S. *et al.* **A Secure IoT-Based System for Real-Time Industrial Safety Monitoring in Hazardous Environments**. All Sciences Proceedings, v. 3, n. 1, 2025. Disponível em: <https://as-proceeding.com/index.php/ijanser/article/download/2640/2500/5076>. Acesso em: 14 jan. 2026.

CUNHA, B. C.; BATISTA, D. M. **Avaliação da Integração do Protocolo MQTT em uma Plataforma de Cidades Inteligentes**. Revista Eletrônica de Iniciação Científica em Computação (REIC), [S. l.], v. 20, n. 2, 2022. Disponível em: <https://journals-sol.sbc.org.br/index.php/reic/article/view/2221>. Acesso em: 18 jan. 2026.

HE, Wei; BAIG, Mirza Jabbar Aziz; IQBAL, Mohammad Tariq. **An Internet of Things—Supervisory Control and Data Acquisition (IoT-SCADA) Architecture for Photovoltaic System Monitoring, Control, and Inspection in Real Time**. Electronics, v. 14, n. 1, 2025. DOI:10.3390/electronics14010042. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/14/1/42>

HENDRAWATI, Dwiana *et al.* **IoT Enabled Real Time Load Height Monitoring and Control System Using PLC and HMI for Smart Industrial**. Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS), v. 6, n. 2, 2025. Disponível em: <https://journal.yrpiiku.com/index.php/jaets/article/view/7044>

JOSHI, P. **The Role of Embedded Systems in Industrial Automation: A Review of Global Developments**. International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation, v. 6, n. 3, p. 378-382, 2025. Disponível em: [https://www.allmultidisciplinaryjournal.com/uploads/archives/20250630131823\\_MGE-2025-3-378.1.pdf](https://www.allmultidisciplinaryjournal.com/uploads/archives/20250630131823_MGE-2025-3-378.1.pdf). Acesso em: 14 jan. 2026.

MISHRA, B. *et al.* **The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: A Survey.** IEEE Access, [S. l.], v. 8, p. 201071-201086, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9247996>. Acesso em: 18 jan. 2026.

OASIS. **MQTT Version 5.0:** OASIS Standard. Edited by Andrew Banks, Ed Briggs, Ken Borgendale, and Rahul Gupta. [S. l.]: OASIS Open, 7 mar. 2019. Disponível em: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/os/mqtt-v5.0-os.html>. Acesso em: 18 jan. 2026.

RAY, Partha Pratim. **A survey on Internet of Things architectures.** Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, v. 30, n. 3, p. 291–319, 2018. DOI: 10.1016/j.jksuci.2016.10.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157816300799>

SINGH, R. *et al.* **Optimizing Operational Efficiency and Food Safety Through the Integration of IoT in Smart Food Processing Systems.** BIO Web of Conferences, v. 122, 05006, 2025. Disponível em: [https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2025/52/bioconf\\_icon-beat2025\\_05006.pdf](https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/pdf/2025/52/bioconf_icon-beat2025_05006.pdf). Acesso em: 14 jan. 2026.