

An IoT-Based Remote Monitoring Information System for Hydroponic Greenhouses in the Context of Smart Farming

Débora Duarte¹, Victor Ströele¹, Fabrício Soares², Ronney Castro¹,
Luciana Conceição Dias Campos¹, Regina Maciel Braga¹

¹Departamento de Ciências da Computação – Instituto de Ciências Exatas –
Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)
Juiz de Fora – MG – Brazil

²Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Congonhas
Congonhas – MG – Brazil

{victor.stroele, regina.braga, ronney.castro, luciana.campos}@ufjf.br
fabricio.soares@ifmg.edu.br

Abstract. Research Context: Climate change and population growth pose challenges to food security, requiring innovations in agriculture. Greenhouses emerge as an alternative for controlled cultivation, and hydroponics optimizes water and space usage while allowing precise nutrient management. **Scientific and/or Practical Problem:** However, hydroponic systems require investment, specialized technical knowledge, and ongoing monitoring. They are vulnerable to energy failures, nutrient imbalances, and environmental variations, leading to rapid production losses, particularly for small producers with limited resources. **Proposed Solution and/or Analysis:** This work proposes a low-cost IoT-based remote monitoring information system for hydroponic greenhouses. The system integrates sensors connected to Arduino, transmitting real-time data to the ThingSpeak cloud platform. The application enables the visualization of critical variables, provides automatic alerts in the event of deviations, and facilitates remote calibration of pH and electrical conductivity sensors. **Related IS Theory:** The solution aligns with the principles of Smart Farming and socio-technical IS theory. By supporting decision-making with real-time data and integrating technology with organizational and social dimensions, it reinforces the role of IS in promoting sustainability and efficiency in agriculture. **Research Method:** An experimental prototype was deployed in a real hydroponic greenhouse, monitoring two reservoirs and cultivation benches. Data from sensors were collected, transmitted via Wi-Fi, stored in ThingSpeak, and consumed by the mobile system for validation under production conditions. **Summary of Results:** The system successfully monitored variables such as temperature, pH, conductivity, solution volume, turbidity, and flow. Alerts enabled timely corrective actions, including adjustments to nutrient and management of excessive conductivity, while ThingSpeak dashboards supported historical analysis. **Contributions and Impact to IS area:** The research demonstrates a low-cost, modular IoT infrastructure integrated with a mobile interface for agriculture. It contributes to IS by bridging technology, organization, and social impact, offering accessible tools that support decision-making, resource efficiency, and preventive management in food production.

1. Introdução

As mudanças climáticas e o crescimento populacional — estimado em 9,7 bilhões de pessoas até 2050 [ONU 2022] — impõem desafios diretos à produção de alimentos, ampliando riscos à produtividade agrícola, ao acesso à água e à estabilidade dos ecossistemas [Hanau et al. 2025]. Nesse contexto, a escassez de recursos naturais e a redução de áreas cultiváveis [de Moura Ariza Alpino et al. 2020] impulsionam a adoção de tecnologias digitais no campo, como sensores, dispositivos de Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem e análise de dados, consolidando o paradigma de *Smart Farming* [Totvs 2022].

Nesse cenário, estufas agrícolas surgem como alternativa promissora por permitirem cultivo sob condições controladas, com ganhos de até 30% na produtividade em relação à agricultura convencional [Agrolink 2021]. A hidroponia, introduzida no Brasil em 1990 [Rodrigues 2002], potencializa ainda mais essa eficiência ao dispensar o uso do solo, reduzir o consumo de água e espaço e possibilitar ciclos produtivos mais curtos. Contudo, sua adoção requer investimento inicial, conhecimento técnico e monitoramento contínuo, uma vez que falhas no fornecimento de energia, desvios no pH ou na condutividade elétrica e erros no preparo da solução nutritiva podem levar a perdas rápidas e significativas [Egídio Bezerra Neto 2012]. Considerando a conjuntura atual de necessidade de sustentabilidade na agricultura e a COP 30¹ a ser realizada no Brasil, este trabalho aborda um problema relevante e contemporâneo, para o qual soluções baseadas em Sistemas de Informação podem contribuir significativamente. Nesse contexto, Sistemas de Informação assumem o papel de integrar dados, processos e pessoas, apoiando a tomada de decisão e a gestão operacional em ambientes agrícolas sensíveis a variações ambientais. Além disso, a proposta apresentada também atende a alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU ², como fome zero, saúde e bem-estar, água potável e saneamento, entre outros.

Apesar de suas vantagens, a hidroponia apresenta vulnerabilidades operacionais. Contaminações, preparo inadequado da solução nutritiva, falhas no fornecimento de energia ou variações ambientais podem comprometer rapidamente toda a produção [Hidroponia 2023], evidenciando a necessidade de sistemas de monitoramento contínuo e confiável, especialmente para pequenos produtores.

Assim, os Sistemas de Informação (SI) baseados em IoT para o monitoramento de cultivo hidropônico despontam como estratégia para mitigar esses riscos [Wildan and Anisa 2024]. Sensores conectados possibilitam o acompanhamento em tempo real de variáveis críticas, armazenamento histórico de dados e automação de rotinas, reduzindo a dependência de mão de obra e ampliando a segurança da produção. Esse conceito, associado ao paradigma de *Smart Farming*, reforça a inovação em SI como uma solução de impacto social e organizacional, sobretudo para pequenos produtores, que muitas vezes carecem de recursos humanos e financeiros para garantir vigilância constante de suas estufas.

Diante desse cenário, a questão de pesquisa norteadora deste artigo é: *Como um SI baseado em IoT pode ajudar a mitigar os riscos de perdas na produção e aumentar a segurança e eficiência no cultivo de hidropônicos para pequenos produtores?*

¹<https://cop30.br/en>

²<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>

Com o intuito de responder à questão de pesquisa, este artigo tem como objetivo desenvolver um sistema de informação para o monitoramento remoto de estufas hidropônicas, integrando sensores conectados a uma plataforma Arduino com módulo ESP8266 e à nuvem ThingSpeak [MathWorks 2025]. A proposta possibilita acompanhar em tempo real variáveis como temperatura, umidade, pH, condutividade elétrica, volume da solução, turbidez da água e fluxo nos perfis (tubos) hidropônicos, além de permitir realizar a calibração remota de sensores e emitir alertas automáticos diante de desvios dos parâmetros ideais. Ademais, contribuir para a uma agricultura mais sustentável com suporte de Sistemas de Informação.

As principais etapas desta pesquisa incluem: (i) projeto e implementação da infraestrutura de ingestão e transmissão de dados; (ii) instalação, integração e calibração dos sensores no ambiente da estufa; (iii) desenvolvimento do SI mobile para visualização, alertas e calibração remota; e (iv) avaliação da solução em contexto real de uso junto ao produtor.

Este trabalho contribui com uma arquitetura de SI de baixo custo baseada em princípios da Arquitetura Lambda, integrando dados de fluxo e dados históricos para suporte operacional ao produtor, um mecanismo de alertas contextualizados e temporizados para variáveis críticas do cultivo, reduzindo o tempo de resposta a anomalias, e uma funcionalidade de calibração remota de sensores de pH e condutividade elétrica, reforçando a qualidade da informação e a autonomia do produtor em ambiente real.

Além desta introdução, a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica e a Seção 3 descreve os trabalhos relacionados a esta pesquisa. Os materiais e métodos são discutidos na Seção 4, seguidos pelos resultados apresentados na Seção 5. Por fim, a Seção 6 apresenta as considerações finais e as perspectivas para os trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Hidroponia

A hidroponia é um conjunto de técnicas de cultivo sem solo, em que os nutrientes são fornecidos por meio de uma solução aquosa balanceada [Carijo and Makishima 2000]. Popularizada no Brasil a partir da década de 1990, essa técnica destaca-se pela eficiência no uso de água e espaço, bem como pelo controle preciso da nutrição vegetal, sendo especialmente indicada para espécies de pequeno porte, como hortaliças folhosas (alface, rúcula, agrião e espinafre) e ervas aromáticas (manjeriço e salsa) [Rodrigues 2002].

No presente trabalho, foi adotado o sistema hidropônico ativo de bancadas individuais, composto por perfis de PVC inclinados, nos quais as plantas crescem sem substrato e recebem continuamente a solução nutritiva bombeada a partir de reservatórios dedicados.

A solução nutritiva, além de garantir a irrigação, deve conter todos os nutrientes essenciais em proporções adequadas e apresentar pH compatível com a absorção radicular. O pH é monitorado por peagômetros³, enquanto a condutividade elétrica, medida por condutímetros, indica a concentração de sais dissolvidos na solução e orienta a reposição

³Peagômetro, ou pHmetro, é o instrumento eletrônico utilizado para medir o pH de soluções, consistindo basicamente em um eletrodo e circuito potenciométrico — amplamente empregado em laboratórios e processos industriais para avaliação da acidez ou alcalinidade de uma amostra [Splash Laboratório 2024].

ou diluição dos nutrientes [Egídio Bezerra Neto 2012]. Nesse contexto, falhas no monitoramento dessas variáveis podem resultar em perdas rápidas e significativas na produção.

2.2. Internet das Coisas Aplicada à Agricultura

A Internet das Coisas (IoT) consiste na integração de dispositivos computacionais — como sensores, atuadores e objetos do cotidiano — a redes capazes de coletar, processar e compartilhar dados sem intervenção humana direta [Rodrigues 2019]. Sua arquitetura envolve componentes de sensoriamento, energia, processamento e comunicação, permitindo que informações coletadas em campo sejam transmitidas a dispositivos de borda ou *gateways* para armazenamento, análise ou acionamento automático de atuadores [Jurgensen 2022].

Essa capacidade de monitoramento contínuo e reação quase em tempo real consolidou a IoT como tecnologia essencial em diversos setores, com destaque para a agricultura. Nesse domínio, a IoT possibilita desde o mapeamento de propriedades até o acompanhamento permanente de variáveis ambientais críticas. Em estufas hidropônicas, sua aplicação inclui o monitoramento de temperatura, umidade, incidência solar, pH e condutividade elétrica, contribuindo para a otimização do uso de recursos e o aumento da eficiência produtiva.

2.3. Plataformas de Prototipagem

Plataformas de prototipagem eletrônica de baixo custo têm papel central na viabilização de soluções IoT em contextos agrícolas, especialmente para pequenos produtores. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica programável e de código aberto, projetada para simplificar o desenvolvimento de projetos que integrem hardware e software [Arduino 2018].

Uma placa Arduino típica é composta por um microcontrolador Atmel AVR, um cristal oscilador e um regulador linear de tensão. Em alguns modelos, existe também uma interface USB, que permite a conexão com computadores ou dispositivos móveis para programação e interação em tempo real. O microcontrolador Atmel AVR de 8 bits é programado por meio da linguagem Arduino, baseada em C/C++, utilizando um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) fundamentado na linguagem *Wiring* [McRoberts 2011]. Essas características tornam o Arduino uma alternativa acessível e flexível para sistemas embarcados em ambientes agrícolas.

2.4. Plataformas em Nuvem para Coleta e Visualização de Dados

Uma alternativa amplamente utilizada para o processamento e a visualização de dados provenientes de dispositivos IoT é o ThingSpeak, uma plataforma em nuvem da MathWorks projetada para coletar, armazenar, analisar e visualizar informações de sensores conectados [MathWorks 2025]. O serviço permite a integração de dispositivos físicos a aplicações de monitoramento por meio de protocolos como HTTP e MQTT, oferecendo acesso remoto em tempo real a partir de qualquer dispositivo conectado à internet.

Entre suas principais funcionalidades destacam-se o armazenamento estruturado em canais, a visualização de dados por meio de gráficos e *dashboards* personalizáveis e a integração com o MATLAB para análises avançadas, aprendizado de máquina e emissão de alertas automáticos [MathWorks 2025]. No contexto deste trabalho, o conceito de

canais foi utilizado para organizar e acompanhar variáveis ambientais e nutricionais, como temperatura, umidade, pH, condutividade elétrica, volume da solução nutritiva e fluxo nos perfis hidropônicos. Essas medições alimentam tanto a análise histórica quanto o sistema mobile desenvolvido, responsável pela exibição de alertas e pela calibração remota dos sensores.

2.5. Análise de Dados

O *Data Analytics*, ou Análise de Dados, refere-se ao processo de explorar, transformar e interpretar dados com o objetivo de identificar padrões e gerar *insights* que apoiem a tomada de decisões [Anteryx 2023]. Com o avanço das tecnologias de sensoriamento, comunicação e armazenamento, a agricultura tornou-se cada vez mais dependente de soluções orientadas a dados, buscando aumentar a eficiência produtiva e reduzir desperdícios [Embrapa 2018].

No contexto agrícola, os dados analisados podem incluir características químicas e físicas, informações climáticas, incidência de pragas e níveis de produtividade [de Queiroz et al. 2022]. Abordagens eficazes de análise são essenciais para transformar grandes volumes de dados coletados em conhecimento útil e acionável. Em sistemas hidropônicos monitorados por IoT, a análise integrada de dados em tempo real e históricos permite não apenas reações imediatas a desvios críticos, mas também o suporte à tomada de decisão informada, contribuindo para a sustentabilidade e a eficiência do cultivo.

3. Trabalhos Relacionados

Diversas pesquisas recentes aplicaram IoT no monitoramento hidropônico, utilizando sensores de baixo custo integrados a microcontroladores. [Novaes 2022] desenvolveu uma horta vertical com Arduino Uno e ESP8266, transmitindo dados via MQTT para uma API ASP.NET e armazenando-os em PostgreSQL, enquanto [Dhal et al. 2023] empregaram sensores ópticos e aprendizado de máquina em ESP32 para controlar metais pesados no cultivo de alface. Já [Megantoro et al. 2022] propuseram um sistema com ESP32 e Firebase para monitorar pH, turbidez e umidade, com interface Android, e [da Silva et al. 2022] apresentaram um protótipo de baixo custo para monitorar temperatura via Arduino Nano e ESP8266-01. O presente trabalho se diferencia ao adotar ThingSpeak como núcleo de coleta em tempo real, integrando monitoramento de variáveis críticas (temperatura, pH, condutividade elétrica, fluxo e volume) em uma solução funcional e acessível a pequenos produtores.

Além da hidroponia, a IoT tem sido explorada em outros contextos agrícolas. [Abdala 2022] aplicaram computação em névoa para monitorar trigo, integrando sensores a um broker MQTT em Raspberry Pi e ao AgDataBox da Embrapa. [Karimanzira and Rauschenbach 2019] investigaram aquaponia com a plataforma GrowWatch (desenvolvida pelos autores), incorporando aprendizado de máquina para prever eventos críticos, enquanto [Huang et al. 2023] propuseram arquitetura modular em *edge computing* para aquaponia, usando dashboards em Node-RED e Grafana. No setor pecuário, [Hanau et al. 2025] desenvolveram solução de baixo custo para avicultura com ESP32 e sensores ambientais, priorizando acessibilidade em ambientes rurais. Essas abordagens reforçam o potencial da IoT para diferentes cadeias produtivas, com arquiteturas escaláveis, tolerantes a falhas e adaptáveis à realidade de pequenos produtores.

Revisões recentes sistematizam o uso da IoT em ambientes controlados. [Rajaseger et al. 2023] destacam a hidroponia como alternativa sustentável diante da escassez de recursos, ressaltando o papel de sensores e automação no cultivo urbano, enquanto [de Borba et al. 2022] analisam estufas inteligentes com foco em eficiência energética, apontando soluções baseadas em sensores, lógica fuzzy e aprendizado de máquina. Esses estudos oferecem uma visão panorâmica das tendências tecnológicas, reforçando a relevância de soluções modulares, escaláveis e integradas à nuvem para aumentar a eficiência e reduzir perdas no setor agrícola.

4. Materiais e Métodos

Esta seção descreve os procedimentos metodológicos adotados no desenvolvimento e na avaliação do sistema proposto. A pesquisa foi conduzida como um estudo de caso exploratório, de natureza aplicada, com abordagem predominantemente qualitativa apoiada por evidências quantitativas operacionais geradas pelo sistema em ambiente real de produção hidropônica.

A arquitetura foi projetada para permitir o monitoramento dos dados de fluxo produzidos pelos sensores e o armazenamento do histórico completo dessas medições realizadas no ambiente das estufas, criando um registro dos dados coletados, garantindo sua rastreabilidade e disponibilidade contínua.

Considera-se que alguns sensores produzem um fluxo contínuo de medições, cujo potencial analítico pode ser enriquecido quando incorporado e correlacionado a dados históricos. No sistema proposto, essa integração foi operacionalizada por meio do armazenamento persistente das medições em canais dedicados na plataforma ThingSpeak, permitindo a análise temporal das variáveis monitoradas e a identificação de padrões relevantes ao manejo da estufa [Analytics 2016].

No contexto desta pesquisa, a integração entre dados de sensores em tempo real e dados históricos é fundamental para apoiar a tomada de decisão dos produtores. A análise isolada de leituras instantâneas costuma gerar respostas apenas reativas. Por exemplo, se um sensor reportar que a temperatura do ar atingiu 30°C (dado de fluxo), se este dado for analisado isoladamente, a ação imediata pode se limitar à ativação de um sistema de resfriamento. Contudo, ao cruzar esta leitura com registros históricos de colheitas passadas (dados históricos), o sistema pode descobrir que temperaturas acima de 29°C, quando mantidas por períodos prolongados, estiveram associadas a uma queda na produtividade e problemas fisiológicos como a ponta queimada. Nesse caso, a fusão de dados transforma uma leitura pontual em um alerta preditivo, enriquecendo o processo decisório: permitindo que o sistema não apenas acione o resfriamento, mas também preveja a probabilidade de danos futuros e alerte o produtor com recomendações de ações preventivas, como calibrar a oxigenação da solução nutritiva, maximizando assim o rendimento e a qualidade da cultura.

Assim, os dados produzidos pelos sensores são coletados e processados em duas camadas complementares: (i) uma camada de processamento em fluxo, responsável pela análise operacional imediata das medições, pela detecção de desvios e pela emissão de alertas em tempo quase real, com resultados apresentados em painéis analíticos para o monitoramento contínuo; e (ii) uma camada de armazenamento histórico, destinada à persistência dos dados e à realização de análises retrospectivas, identificação de padrões

e suporte à tomada de decisão baseada em contexto. Essa abordagem permite conciliar respostas operacionais rápidas com análises mais aprofundadas, essenciais em ambientes agrícolas sensíveis a variações ambientais.

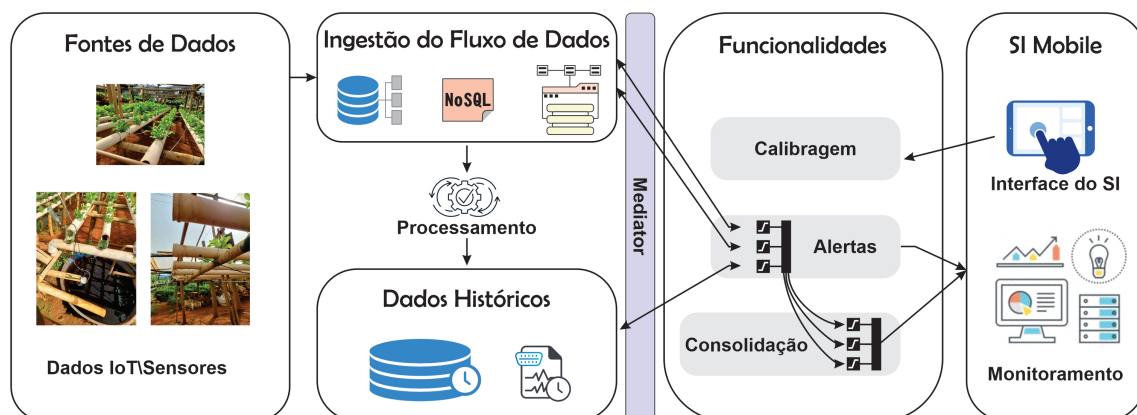


Figura 1. Arquitetura do SI Mobile para monitoramento em Estufas Hidropônicas.

A Figura 1 apresenta uma visão geral dos componentes da arquitetura do sistema, concebida para dar suporte ao monitoramento contínuo de dados de fluxo e à integração com dados históricos. A arquitetura foi inspirada no paradigma da Arquitetura Lambda⁴, adaptado ao contexto de um Sistema de Informação de baixo custo para monitoramento agrícola.

Nesse arranjo, a camada *Speed* foi implementada por meio da ingestão contínua de dados via protocolo HTTP pelo módulo ESP8266, com envio das medições à plataforma ThingSpeak, permitindo processamento em janelas temporais fixas do tipo *Tumbling* e a emissão de alertas operacionais em tempo quase real. A camada *Batch* é responsável pelo armazenamento persistente dos dados históricos nos canais do ThingSpeak, viabilizando análises retrospectivas e visualização de tendências. Por fim, a camada *Serving* é representada pelo Sistema de Informação Mobile, que integra dados atuais e históricos e os apresenta em painéis analíticos e notificações, apoiando o monitoramento contínuo e a tomada de decisão.

O componente **Fontes de Dados** é responsável pelo monitoramento dos dados produzidos pelos sensores e dispositivos instalados no ambiente das estufas. Este componente foi projetado para suportar dois tipos de aplicações: aplicações dedicadas à ingestão de dados brutos de fluxo, com foco em alto rendimento e baixa latência, e aplicações voltadas para a ingestão programada de dados, nas quais rotinas de extração e processamento de dados são realizadas periodicamente.

O componente **Ingestão do Fluxo de Dados** que utiliza as ferramentas de processamento de dados em fluxo, configuradas para dar suporte a aplicações em tempo real, tais como ThingSpeak, Flink, Kafka, Spark, Storm, etc. Essas ferramentas possuem diversos operadores, como janelas variadas, junção de fluxos e detecção de padrões,

⁴A Arquitetura Lambda é um modelo arquitetural para processamento de grandes volumes de dados que combina processamento em fluxo e processamento em lote, buscando conciliar baixa latência, escalabilidade e tolerância a falhas. Sua estrutura clássica é composta por três camadas: *Speed* (processamento em tempo quase real), *Batch* (processamento e armazenamento histórico) e *Serving* (camada de consulta e acesso aos resultados) [Kiran et al. 2015].

sendo capazes de processar e manipular dados em fluxo em repositórios com modelos de dados diversificados, respeitando as janelas definidas para o processamento de fluxo [Garofalakis et al. 2016]. Janelas são a técnica de executar agregados sobre fluxos, classificadas como janelas *Tumbling* (sem sobreposição) e janelas *Sliding* (com sobreposição). Neste estudo, foram configuradas apenas as janelas *Tumbling* que realizam processamento de dados em intervalos fixos e não sobrepostos, agregando todas as medições recebidas dentro de cada intervalo de tempo. Essa abordagem foi adotada por sua simplicidade e previsibilidade, sendo adequada para a emissão de alertas operacionais em tempo quase real. Os dados processados nas janelas são apresentados para o monitoramento pelo usuário e armazenados para análises futuras.

Os dados processados pelo componente de Ingestão de Fluxo de Dados são armazenados no componente de **Dados Históricos**. Este componente foi projetado com o propósito de armazenar tanto os dados processados em fluxo quanto armazenar dados provenientes de outros sistemas externos, que podem ser utilizados para o enriquecimento dos dados brutos dos sensores. Isso viabiliza análises retrospectivas e pode ser utilizado em modelos de aprendizado de máquina para análises preditivas e suporte à decisão estratégica.

O componente de **Gerenciamento e Alerta** representa a camada de interação e inteligência da arquitetura, atuando como o núcleo das operações para o usuário e o gerenciamento dos dispositivos. Este módulo viabiliza a calibragem remota dos sensores, permitindo ajustes nos dispositivos de campo sem intervenção física, o que garante a precisão contínua das medições. Adicionalmente, este componente realiza a detecção de variações críticas nos dados de fluxo e é responsável pela emissão de alertas em tempo real diretamente aos produtores. Outro papel fundamental deste componente é a consolidação dos dados de sensores em tempo real com o histórico armazenado, gerando visões de monitoramento enriquecidas para o usuário, melhorando a análise dos dados, permitindo que o produtor visualize tendências, entenda as relações causais e tome decisões proativas baseadas em informações contextuais, e não apenas em leituras momentâneas. As decisões de alerta e os comandos gerados por este componente são disponibilizados ao usuário por meio do SI Mobile, que atua como interface de interação e controle do sistema.

O último componente da arquitetura é o **SI Mobile**, que representa a camada de apresentação e o ponto de interação final com o usuário. Este módulo é essencial para traduzir o volume de informações processadas e consolidadas (provenientes da integração entre dados de fluxo e dados históricos) em visões e painéis de controle intuitivos. Sua função não se limita à visualização, o sistema atua como o ponto de comando, fornecendo a interface necessária para que o produtor possa executar ações operacionais de calibragem dos sensores de forma remota. Dessa forma, o sistema garante intervenção imediata, otimização contínua da precisão dos dados e uma gestão eficiente da estufa hidropônica.

5. Avaliação

Esta seção descreve a metodologia adotada para a avaliação da proposta e os resultados obtidos. A avaliação foi conduzida como um estudo de caso exploratório em ambiente real, com ênfase em evidências quantitativas operacionais geradas pelo sistema (leituras, históricos e eventos de alerta registrados) e evidências qualitativas descritivas obtidas a partir do uso contínuo e do feedback direto do produtor durante o período experimental.

5.1. Planejamento

O estudo foi realizado em uma estufa comercial localizada em Congonhas (MG), construída em 2020 e posteriormente expandida para cerca de 350 m², distribuídos em 31 bancadas, com 8 perfis hidropônicos cada, alimentadas por reservatórios individuais de solução nutritiva. O período de operação experimental ocorreu entre junho e julho de 2025, acompanhando o uso do sistema durante a rotina de manejo do produtor.

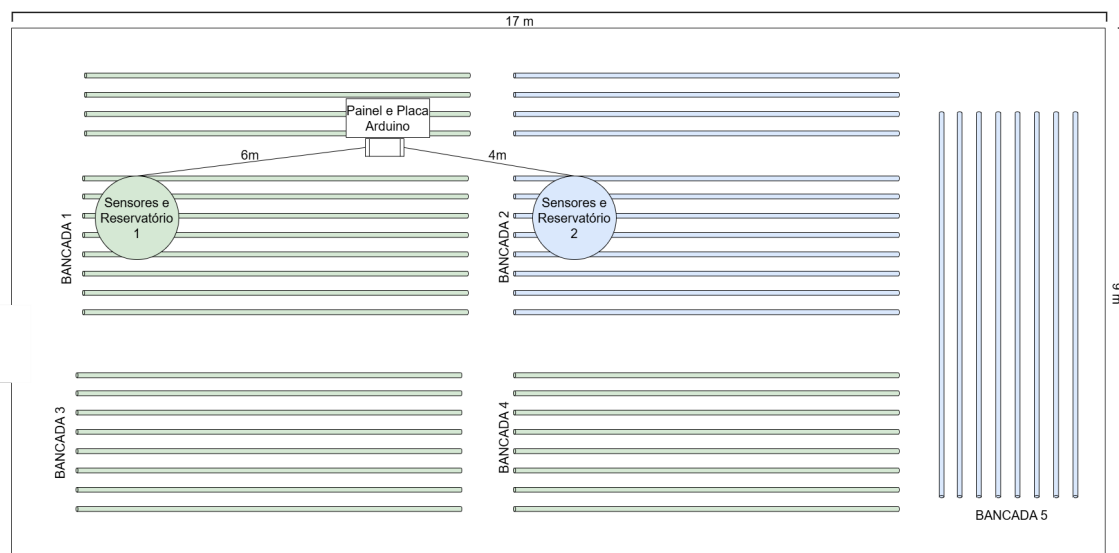


Figura 2. Esquema simplificado demonstrando a localização dos reservatórios selecionados na estufa.

5.2. Condução

Para a *implantação física e configurações* dos sensores foram selecionados dois reservatórios considerados, pelo produtor, mais representativos e acessíveis para instalação dos sensores (Figura 2). O Reservatório 1 abastece as bancadas destacadas em verde e o Reservatório 2 as bancadas em azul. A placa Arduino Mega 2560 foi posicionada em um ponto central entre ambos, reduzindo o comprimento dos cabos de conexão e facilitando a integração elétrica.

Para o monitoramento do fluxo de água, foram instrumentados cinco perfis hidropônicos pertencentes à Bancada 1, alimentada pelo Reservatório 1. Essa configuração permitiu avaliar o funcionamento do sistema em condições reais sem a necessidade de instrumentar todas as bancadas da estufa, mantendo a viabilidade prática da implantação do sistema.

Para a *coleta de dados* foram utilizados sensores de pH, condutividade elétrica, temperatura da solução, turbidez, nível do reservatório, fluxo nos perfis e temperatura/umidade do ar, todos conectados na placa Arduino Mega 2560 integrada a rede Wi-Fi local. Dessa forma, as leituras foram transmitidas em tempo real para a ingestão dos dados na plataforma ThingSpeak, responsável pelo armazenamento e processamento. Os dispositivos empregados estão listados na Tabela 1.

Além da seleção dos sensores, foi necessária a criação de uma estrutura física que garantisse robustez, modularidade e facilidade de manutenção. Os sensores de pH, con-

Tabela 1. Sensores utilizados e variáveis monitoradas

Sensor (modelo)	Variável monitorada	Onde/Instalação
DHT22 (AM2302)	Temperatura e umidade do ar	Ambiente da estufa
Sonda de pH + módulo analógico	pH da solução nutritiva	Submerso no reservatório
Sonda de Condutividade (EC)	Condutividade elétrica da solução	Submerso no reservatório
DS18B20 (à prova d'água)	Temperatura da solução nutritiva	Submerso no reservatório
Chave/sensor de fluxo (XKC-Y26-PNP)	Presença de fluxo nos perfis hidropônicos	Base dos perfis (tubos)
Sensor de Turbidez	Turbidez da água de abastecimento	Linha de entrada / copo amostrador
HC-SR04 (ultrassônico)	Volume da solução no reservatório	Tampa/Topo do reservatório (apontado para a lâmina d'água)

ductividade e temperatura da solução foram instalados diretamente nos reservatórios, enquanto os sensores de fluxo foram fixados nos perfis hidropônicos. A ligação foi realizada com cabos coaxiais bipolares de 4 mm e comprimento de 6 m, permitindo posicionar a central de controle em local protegido sem comprometer a qualidade das medições. Após o posicionamento, todos os sensores foram conectados à placa Arduino Mega 2560. A Figura 3 traz uma representação esquemática das conexões dos sensores.

A montagem modular possibilita a substituição individual de sensores em caso de falha sem interferir no cabeamento principal ou na controladora. Para garantir conexões confiáveis, foram utilizados conectores de engate rápido macho-fêmea (modelo aplicado em fitas de LED RGB), tanto entre sensor e cabo quanto entre o cabo e a placa perfurada. Esta atua como intermediária, recebendo os sinais e distribuindo-os ao Arduino por meio de *jumpers* padrão, enquanto a alimentação é fornecida pela própria placa via conector P4.

A coleta automatizada foi viabilizada pela integração entre a placa Arduino Mega 2560, responsável pela leitura dos sensores, e um módulo ESP8266, encarregado da comunicação com a internet. A troca de informações entre ambos ocorre via interface serial, em protocolo textual simples de comandos e respostas.

O Arduino (responsável pela coleta) executa leituras a cada 15 s. Para evitar sobrecarga e respeitar limites da plataforma, o ESP8266 (responsável pela transmissão) solicita ao Arduino um novo conjunto de medições e o envia a cada 20 s, via comando `L` na interface serial. Em resposta, o Arduino retorna uma *string* única com pares chave=valor, que o ESP8266 interpreta e transmite via HTTP ao ThingSpeak.

Para preservar a integridade das medições, cada leitura passa por verificação de validade diretamente no código do Arduino. Valores inválidos (*NaN*, fora de faixa ou falha de sensor) são substituídos por um marcador padrão de erro (-999). Esse valor sentinela, tratado em todo o sistema, evita a propagação de dados corrompidos, cobre falhas físicas de sensores ou cabos e permite que as análises ignorem leituras comprometidas.

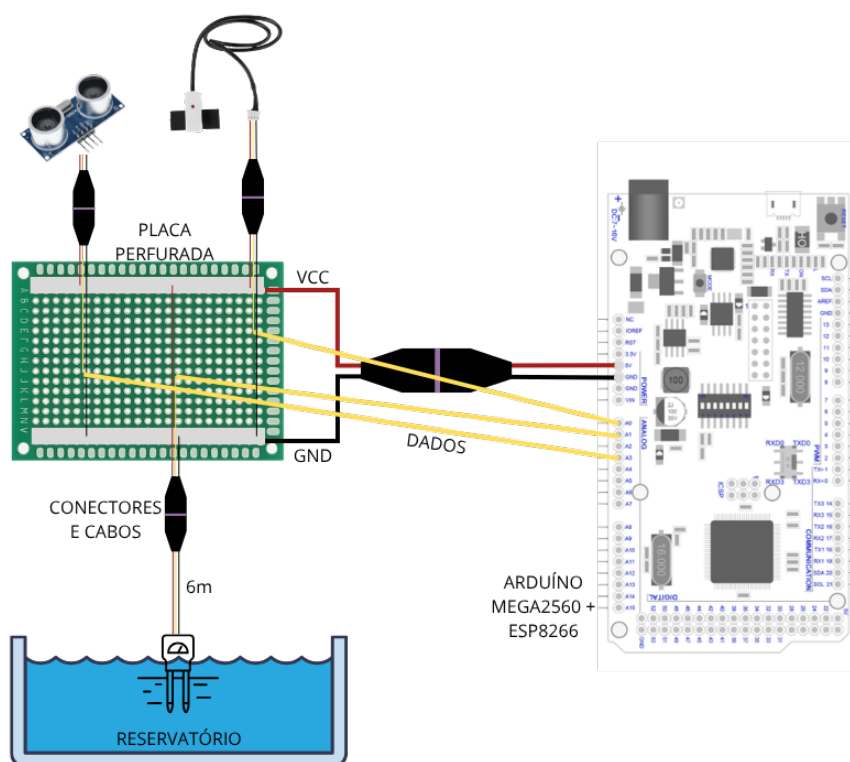


Figura 3. Esquema simplificado da implantação dos sensores no ambiente da estufa.

Considerando as necessidades de análise do produtor, o sistema foi desenvolvido para a organização dos dados no ThingSpeak em dois canais distintos: o primeiro dedicado a variáveis de ambiente e infraestrutura (temperatura e umidade do ar, turbidez da água de abastecimento e estados dos sensores de fluxo), e o segundo às variáveis da solução nutritiva (temperatura, pH, condutividade elétrica e volume dos reservatórios). Essa separação facilita tanto a visualização em tempo real quanto a análise histórica de cada grupo de variáveis.

O sistema também possibilita que o produtor faça a calibração remota dos sensores de pH e condutividade elétrica usando a interface no dispositivo mobile. Essa funcionalidade é acionada por uma requisição HTTP ao ESP8266, que retransmite o comando via serial ao Arduino (ex.: CALPH:4, CALPH:7, CALPH:10 ou CALEC:1413). Ao receber o comando, o Arduino pausa temporariamente a aquisição regular, realiza um período de estabilização do sensor e executa a leitura de múltiplas amostras, calculando a média para reduzir ruídos gerados pela calibragem.

5.2.1. Sistema Mobile

O sistema mobile foi desenvolvido como interface de visualização e interação remota com o sistema IoT da estufa, priorizando simplicidade operacional e uso intuitivo por pequenos e médios produtores.

O aplicativo foi implementado em Flutter. As leituras são consumidas por meio

da ThingSpeak Read API (HTTP), enquanto as ações de calibração remota dos sensores são enviadas via requisições HTTP ao módulo ESP8266, que retransmite os comandos ao Arduino por interface serial.

Os dados exibidos no aplicativo incluem variáveis ambientais e nutricionais, como temperatura e umidade do ar, pH, condutividade elétrica, volume da solução nutritiva, turbidez da água e presença de fluxo nos perfis de cultivo. As informações são atualizadas quase em tempo real, refletindo o último conjunto de medições disponível na plataforma ThingSpeak, de acordo com os intervalos definidos para leitura e transmissão, garantindo consistência entre o estado físico da estufa e a visualização no sistema.

A interface do sistema foi desenvolvida para oferecer simplicidade e clareza, mesmo para produtores com pouca familiaridade com tecnologias digitais. Os elementos visuais foram pensados para comunicar rapidamente o estado da estufa, permitindo identificar problemas de forma quase imediata.

A tela inicial apresenta *cards* com os dados mais relevantes dos dois reservatórios monitorados — temperatura da solução, pH, condutividade elétrica e volume disponível (Figura 4). Os valores, atualizados automaticamente a cada 20 segundos, são exibidos com destaque e acompanhados por ícones temáticos que facilitam a associação de cada variável ao seu parâmetro. Quando um valor ultrapassa os limites aceitáveis, o aplicativo gera alerta visual, conforme mostrado na Figura 5, e inicia a contagem do tempo em condição crítica, reiniciando-a quando a variável retorna à faixa ideal. Dessa forma, o produtor não apenas é notificado em tempo real, mas também sabe há quanto tempo o problema persiste, o que auxilia na priorização das ações corretivas.

A identificação de desvios é reforçada por mudanças de cor nos *cards*: azul-claro para normalidade e alaranjado para alerta, acompanhado de ícone e mensagem explicativa (por exemplo, “pH abaixo do ideal” ou “ausência de fluxo em B1C3”), conforme Figura 5.

Ao selecionar um reservatório, o usuário acessa uma tela detalhada que mostra os valores atuais de pH, condutividade, temperatura da solução e volume, além do status individual dos perfis (Perfil 1 a Perfil 5). Quando o sistema identifica a ausência de fluxo em um dos perfis, inicia automaticamente a contagem da duração da falha, exibindo-a na interface. Essa abordagem fornece uma visão clara e segmentada da estufa, permitindo intervenções rápidas e reduzindo o risco de perdas por longos períodos sem irrigação.

Em caso de falha prolongada de sensores ou ausência de atualização do ThingSpeak, o sistema emite alerta automático, informando o produtor sobre a interrupção do monitoramento e permitindo identificar se o problema está no sensor, na transmissão ou na infraestrutura de rede.

Além do monitoramento, o aplicativo também possibilita calibrações remotas dos sensores de pH e condutividade elétrica. No menu de calibração, o usuário escolhe qual sensor calibrar e com qual solução padrão ou valor de referência. O processo, executado em poucos toques, reduz a necessidade de ajustes manuais na estufa e mantém a precisão das leituras ao longo do tempo, reforçando a proposta de praticidade e autonomia do sistema.



Figura 4. Tela inicial do aplicativo.



Figura 5. Tela inicial com alertas.

5.2.2. Análises

Esta seção detalha as funcionalidades do sistema e as visualizações históricas no ThingSpeak durante o uso da solução por um produtor da estufa, demonstrando o funcionamento completo da solução em condições reais de operação.

A análise dos dados coletados é central para avaliar condições de cultivo e orientar intervenções. No contexto hidropônico, variáveis como temperatura da solução, pH, condutividade elétrica (EC), umidade do ar e volume dos reservatórios afetam diretamente o desenvolvimento das plantas, qualidade do produto e ocorrência de pragas/doenças [Rodrigues 2002]. Para a emissão dos alertas, foram adotados os seguintes valores de referência:

- **Temperatura da solução:** alvo em torno de 25 °C; valores baixos reduzem absorção de água/nutrientes, e valores altos (maiores que 38 °C) diminuem o oxigênio dissolvido [Santos et al. 2012].
- **pH:** faixa ideal 6,0–6,5; desvios ácidos (menores que 4,0) ou alcalinos (maiores que 7,5) prejudicam a integridade celular radicular e a absorção de nutrientes [Rodrigues 2002].
- **Umidade relativa do ar:** alvo próximo de 70%; níveis elevados favorecem doenças e podem mascarar deficiências nutricionais ao reduzir a transpiração [Santos et al. 2012].
- **Condutividade elétrica (EC):** indicador da concentração total de sais; faixas ide-

ais dependem da espécie. EC baixa implica deficiência nutricional; EC alta causa estresse salino e dano radicular [Rodrigues 2002].

- **Volume do reservatório:** níveis adequados garantem suprimento contínuo; quedas bruscas indicam vazamentos/consumo excessivo e alteram concentração da solução (impactando pH e EC) [Rodrigues 2002].

Adicionalmente, monitorou-se o **intervalo de acionamento das bombas**, previsto para ocorrer a cada 30 minutos. Atrasos elevam o tempo de exposição das raízes sem solução nutritiva e podem resultar em perdas em poucas horas [Rodrigues 2002].

Com base nesses limites, o sistema deve emitir **alertas automáticos** quando detecta valores fora de faixa, queda de volume, ausência de fluxo ou atraso de bombeamento. As notificações são exibidas na interface do sistema e nos *dashboards*, permitindo ação corretiva rápida e registro histórico para análise de tendências.

5.3. Resultados da Aplicação Prática e Relevância para o Produtor

O sistema foi implantado experimentalmente em uma estufa hidropônica real, monitorando dois reservatórios e uma bancada de cultivo equipada com sensores para acompanhar o fluxo da solução nutritiva. Essa aplicação parcial permitiu validar toda a cadeia de funcionamento — aquisição de dados, transmissão via ThingSpeak, visualização no sistema e resposta a situações críticas — aproximando a tecnologia do contexto cotidiano do produtor.

Mesmo em fase de prototipação, o sistema foi instalado no dispositivo mobile do produtor para que ele acompanhasse a produção. Durante o uso, o produtor reportou que o sistema teve um impacto direto na sua rotina. Ele reportou que o monitoramento contínuo identificou variações importantes nos indicadores de produção. O primeiro alerta emitido pelo sistema foi sobre a ausência de fluxo em um dos perfis por tempo superior ao limite seguro, o que possibilitou correção antes de perdas significativas. O sistema também detectou e alertou sobre a entrada de ar no sistema de bombeamento, que comprometia a distribuição da solução nutritiva.

Outro alerta emitido pelo sistema foi sobre o pH elevado da solução, acima do ideal para o cultivo. Inicialmente, o produtor relatou que não houve alteração no fornecimento e que, por isso, o pH deveria estar normal, indicando que poderia ser um possível erro do sistema. Entretanto, após uma análise mais detalhada dos dados com a ajuda dos dashboards do sistema, a investigação revelou alteração na qualidade da água de abastecimento, que antes apresentava pH naturalmente mais baixo. O gráfico da Figura 6, recortado do dashboard, mostra a elevação registrada em junho, ultrapassando, por vários dias, o limite definido no sistema. Como medida corretiva, o produtor passou a ajustar manualmente o pH semanalmente, restabelecendo os níveis adequados. O efeito da intervenção é visível no gráfico da Figura 7, com a redução consistente dos valores no mês seguinte.

Além disso, durante o período de uso do sistema, foi identificada uma falha na estratégia de manutenção da condutividade elétrica (EC), uma vez que os valores estavam consistentemente elevados, conforme evidenciado na Figura 8. Segundo o produtor, condutividade elétrica acima dos limites ideais é particularmente prejudicial ao cultivo hidropônico, pois pode provocar queima das raízes, dificultar a absorção de nutrientes pelas plantas e favorecer o surgimento de patógenos.

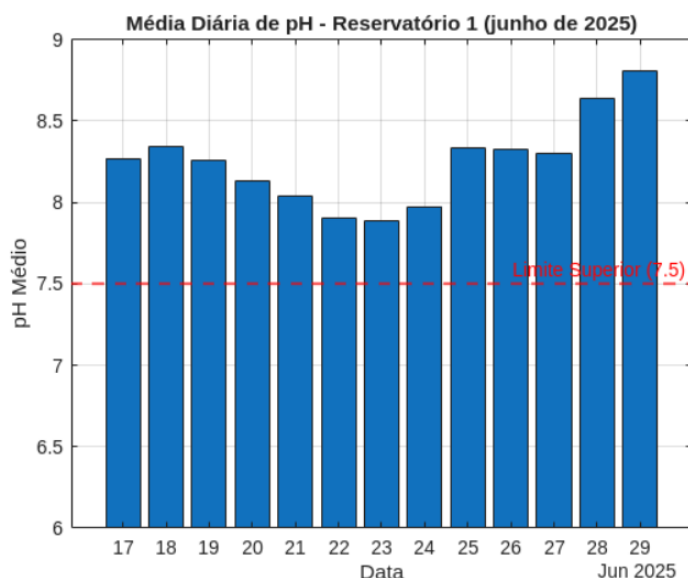


Figura 6. Variação do valor médio diário do pH ao longo do mês de Junho.

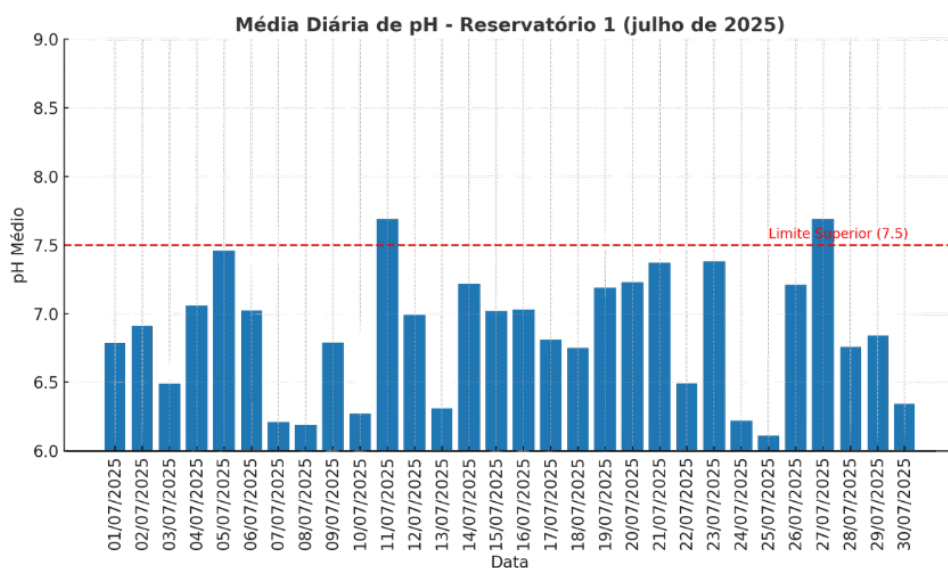


Figura 7. Variação do valor médio diário do pH ao longo do mês de Julho.

O alerta visual exibido no sistema mobile permitiu ao produtor perceber o problema com antecedência e buscar orientação especializada. Após consultar um profissional do ramo da hidroponia, foi recomendado ao produtor que mantivesse os valores de EC mais baixos, especialmente durante períodos de clima frio, como forma de evitar o agravamento dos sintomas de estresse nas plantas. Essa orientação foi motivada por episódios observados de amarelamento das folhas e podridão radicular, atribuídos aos altos valores de EC registrados anteriormente.

Como resultado, o produtor passou a adotar uma nova estratégia de controle, reduzindo a concentração da solução nutritiva em dias mais frios. O gráfico da Figura 9 mostra a média diária da condutividade elétrica no mês seguinte, evidenciando uma queda signi-

ficativa nos valores e um maior controle sobre o parâmetro, alinhando-se às boas práticas recomendadas para o cultivo.

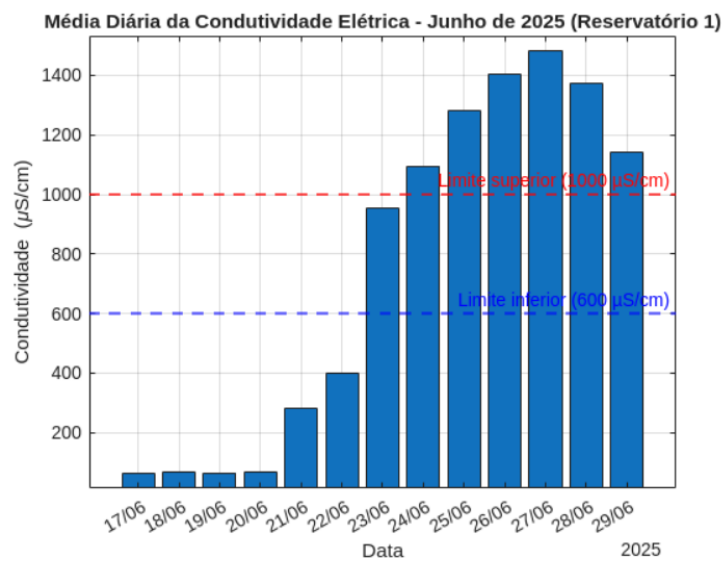


Figura 8. Média diária da condutividade elétrica (EC) ao longo de Junho.

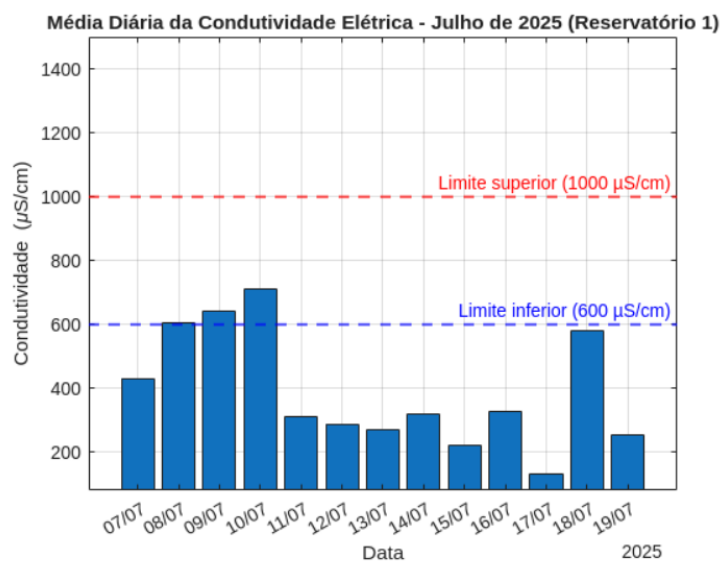


Figura 9. Média diária da condutividade elétrica (EC) ao longo de Julho.

5.4. Discussões

Os episódios relatados nesta subseção constituem evidências qualitativas de impacto operacional, obtidas a partir da observação do uso contínuo do sistema em ambiente real e da resposta do produtor aos alertas emitidos, no contexto de um estudo de caso exploratório.

A avaliação do sistema mobile de monitoramento remoto demonstrou a viabilidade e o impacto direto da solução IoT no manejo da estufa hidropônica. O design orientado à simplicidade e à operação intuitiva mostrou-se eficaz ao atender produtores sem

suporte técnico especializado, evidenciado pela rápida adaptação do produtor ao sistema, sem necessidade de treinamento prévio.

O encadeamento contínuo de dados – Arduino → ThingSpeak → Sistema Mobile – garantiu o acesso a informações atualizadas em quase tempo real (intervalos de 15 segundos), fator essencial para o gerenciamento de variáveis ambientais e nutricionais críticas. Segundo o produtor, os alertas automáticos baseados em desvios dos parâmetros de referência configuraram o principal valor agregado da solução, por possibilitarem intervenções rápidas e direcionadas.

A aplicação prática do sistema em condições reais ressaltou seu papel na prevenção de perdas e na detecção precoce de anomalias. Exemplos incluem alertas sobre ausência de fluxo e entrada de ar no sistema de bombeamento, que permitiram correções antes de danos significativos à cultura.

O episódio de pH elevado na solução nutritiva ilustra a relevância da integração entre visualização em *dashboards* e dados históricos. Inicialmente atribuído a possível erro do sistema, o desvio foi posteriormente associado à alteração na qualidade da água de abastecimento após análise dos registros históricos. A intervenção manual resultou no restabelecimento dos níveis adequados, validando o sistema como ferramenta de suporte à investigação e à tomada de decisão baseada em evidências.

De forma similar, a detecção de condutividade elétrica elevada em junho, sinalizada pelos alertas do sistema mobile, motivou a busca por orientação técnica especializada. A adoção de uma estratégia de redução da EC em períodos frios resultou em maior estabilidade e diminuição dos valores no mês seguinte, demonstrando que o sistema induz a adoção de melhores práticas de cultivo e transforma dados em conhecimento acionável.

A possibilidade de realizar calibrações remotas de pH e EC configura-se como funcionalidade-chave da solução. Ao simplificar a manutenção da precisão dos sensores, o sistema reforça a autonomia do produtor e reduz a necessidade de intervenções físicas frequentes na estufa.

Dessa forma, foi possível responder à questão de pesquisa: *Como um SI baseado em IoT pode ajudar a mitigar os riscos de perdas na produção e aumentar segurança e eficiência no cultivo de hidropônicos para pequenos produtores?* Os resultados indicam que a integração entre IoT e análise de dados fornece informações enriquecidas que apoiam a tomada de decisão do produtor rural.

Observou-se que o SI não apenas previne falhas imediatas, mas também promove inteligência operacional e autonomia ao produtor, evidenciadas pela simplicidade da interface e pela calibragem remota. A avaliação realizada indica que o sistema contribui para a mitigação de perdas no cultivo hidropônico.

Existem, contudo, ameaças à validade do estudo. O sistema apresenta caráter essencialmente reativo, notificando o produtor após desvios, sem atuação automática no ambiente. Além disso, a dependência de conexão com a internet pode ocasionar perdas temporárias de dados, e o cabeamento necessário pode limitar a escalabilidade e dificultar a manutenção em estruturas maiores.

Por tratar-se de uma avaliação conduzida com apenas um produtor rural, faz-se necessária a realização de novos experimentos em diferentes contextos, culturas e escalas,

com maior volume de dados, a fim de avaliar a escalabilidade e o desempenho da solução.

De maneira geral, os resultados indicam que a solução proposta se alinha à teoria socio-técnica de Sistemas de Informação. O SI desenvolvido oferece suporte direto às Pessoas (produtores), atua como assistente operacional para a tomada de decisão e contribui para a Organização (estufas hidropônicas) ao aumentar segurança, eficiência e sustentabilidade. Esses benefícios são viabilizados pela Tecnologia, que integra sensores, dispositivos e sistemas para potencializar a ação humana no contexto produtivo.

6. Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma infraestrutura baseada em IoT para monitoramento de estufas hidropônicas, contemplando três eixos: projeto da arquitetura para um SI mobile; implantação física da infraestrutura necessária para o monitoramento; desenvolvimento do sistema mobile para monitoramento remoto e avaliação do sistema.

Os objetivos foram alcançados: o protótipo foi projetado, implementado e avaliado em campo por um produtor, garantindo a coleta e transmissão dos dados via rede Wi-Fi e a visualização em tempo real no sistema dedicado. A análise das leituras demonstrou a utilidade da solução no acompanhamento de parâmetros críticos como condutividade elétrica, pH, temperatura e fluxo nos perfis hidropônicos.

Do ponto de vista social, o sistema oferece uma alternativa de baixo custo, modular e adaptável, com potencial de impacto direto em propriedades familiares que carecem de mão de obra especializada. Ao promover autonomia tecnológica, contribui tanto para a sustentabilidade econômica quanto ambiental dessas produções. Ressalta-se, ainda, que os Sistemas de Informação se apoiam nos pilares tecnológico, organizacional e social, e este projeto se situa justamente na interseção entre eles, unindo inovação e relevância prática [Araujo 2023].

Com base nos resultados obtidos com a avaliação, podemos afirmar que o sistema demonstrou ser uma ferramenta robusta para mitigar os riscos de perdas e aumentar a segurança e eficiência no cultivo hidropônico por pequenos produtores, respondendo à questão de pesquisa norteadora: *Como um SI baseado em IoT pode ajudar a mitigar os riscos de perdas na produção e aumentar a segurança e eficiência no cultivo de hidropônicos para pequenos produtores?*

Como aprimoramentos futuros, destacam-se: (i) ampliação da área monitorada; (ii) armazenamento local temporário seguindo o paradigma *Edge-Fog-Cloud*, evitando perdas em quedas de conexão; (iii) redução do cabeamento, com placas menores distribuídas por reservatório; (iv) inclusão de mecanismos de atuação direta, como reabastecimento automático, elevando o sistema de um nível reativo para pró-ativo; (v) uso de análise preditiva baseada em aprendizado de máquina para maior suporte à tomada de decisão; (vi) desenvolvimento de interface web e integração com plataformas de visualização (Grafana, Power BI), possibilitando a visualização dos dados por parte de gestores.

Essas evoluções podem tornar o sistema mais robusto, inteligente e autônomo, fortalecendo sua contribuição para um cultivo eficiente e sustentável, sobretudo em pequenas e médias propriedades que enfrentam limitações de mão de obra e recursos financeiros.

Referências

- Abdala, M. C. (2022). Desenvolvimento de uma plataforma iot sob a arquitetura de computação em névoa para agricultura de precisão. *Dissertação(Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná*.
- Agrolink, A. (2021). Plantio em estufa com alta tecnologia eleva até 30% a produtividade. https://www.agrolink.com.br/noticias/plantio-em-estufa-com-alta-tecnologia-eleva-ate-30-a-produtividade_445682.html. Acesso em: 01/05/2023.
- Analytics, M. (2016). The age of analytics: competing in a data-driven world. *McKinsey Global Institute Research*.
- Anteryx (2023). Data analytics. <https://www.alteryx.com/glossary/data-analytics>. Acesso em: 03/05/2023.
- Araujo, R. (2023). Vamos ampliar nossa visão sobre sistemas de informação? Acesso em: 22 jul. 2025.
- Arduino (2018). What is arduino? <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 10/06/2023.
- Carijo, O. A. and Makishima, N. (2000). Princípios de hidroponia. *Embrapa Hortalicas. Circular Tecnica*.
- da Silva, D. A., Mariano, A. B. R., and de Sousa, A. B. O. (2022). Development of a low-cost iot platform for data collection. *Engenharia Agrícola*, 30:85–96.
- de Borba, J. C., da Silva Tiscoski, N., Filho, S. F. R., Neto, V. S., Gruber, V., Esteves, P. C. L., and da Mota Alves, J. B. (2022). Estufas inteligentes e eficientes energeticamente: uma análise descritiva da literatura. *Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial*, 15(2).
- de Moura Ariza Alpino, T., Mazoto, M. L., de Barros, D. C., and de Freitas, C. M. (2020). Os impactos das mudanças climáticas na segurança alimentar e nutricional: uma revisão da literatura. *Cien Saude Colet*.
- de Queiroz, D. M., Valente, D. S. M., de Assis de Carvalho Pinto, F., and Borém, A. (2022). *Agricultura digital - 2º Edição*. Oficina de Textos, São Paulo, SP.
- Dhal, S. B., Mahanta, S., Gumero, J., O’Sullivan, N., Soetan, M., Louis, J., Gadepally, K. C., Mahanta, S., Lusher, J., and Kalafatis, S. (2023). An iot-based data-driven real-time monitoring system for control of heavy metals to ensure optimal lettuce growth in hydroponic set-ups. *Sensors*.
- Egídio Bezerra Neto, L. P. B. (2012). As técnicas de hidroponia. *Portal de Periódicos da UFPRE*.
- Embrapa (2018). Avanço da ciência de dados e big data, inteligência artificial, aprendizado de máquina e cooperativas de dados. <https://www.embrapa.br/en/visao-de-futuro/agrodigital/sinal-e-tendencia/big-data-na-agricultura>. Acesso em: 10/06/2023.
- Garofalakis, M., Gehrke, J., and Rastogi, R., editors (2016). *Data Stream Management*. Springer Berlin Heidelberg.
- Hanau, C., Lopes, V., Santos, M., Oliveira, R., Graciano-Neto, V., Kassab, M., David, J., and Braga, R. (2025). Smart farming for poultry: Leveraging chicken raising with low-

- cost iot-based information systems. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação*, pages 125–134, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Hidroponia, P. (2023). A hidroponia. <https://plataformahidroponia.com/a-hidroponia/>. Acesso em: 02/05/2023.
- Huang, W.-C., Hsieh, M.-H., Yu, W.-Y., and Chen, Y.-S. (2023). A modularized iot monitoring system with edge-computing for aquaponics. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(4):3659–3669.
- Jurgensen, G. P. (2022). Monitoramento e automação de estufa agrícola. *io Institucional-Repositór UFSC*.
- Karimanzira, D. and Rauschenbach, T. (2019). Enhancing aquaponics management with iot-based predictive analytics for efficient information utilization. *Information Processing in Agriculture*, 6:375–385.
- Kiran, M., Murphy, P., Monga, I., Dugan, J., and Baveja, S. S. (2015). Lambda architecture for cost-effective batch and speed big data processing. In *2015 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, pages 2785–2792. IEEE.
- MathWorks (2025). Thingspeak documentation. <https://www.mathworks.com/help/thingspeak/>. Acesso em: 19 ago. 2025.
- McRoberts, M. (2011). *Arduino Básico*. Novatec Editora Ltda, São Paulo, SP.
- Megantoro, P., Prastio, R. P., Kusuma, H. F. A., Abror, A., Vigneshwaran, P., Priambodo, D. F., and Alif, D. S. (2022). Instrumentation system for data acquisition and monitoring of hydroponic farming using esp32 via google firebase. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*.
- Novaes, M. S. (2022). Horta vertical com sistema de monitoramento iot. *Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”*.
- ONU (2022). População mundial atinge 8 bilhões de pessoas. <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342>. Acesso em: 01/05/2023.
- Rajaseger, G., Chan, K. L., Tan, K. Y., Ramasamy, S., Khin, M. C., Amaladoss, A., and Haribhai, P. K. (2023). Hydroponics: Current trends in sustainable crop production. *Bioinformation*, 19(9):925–938.
- Rodrigues, L. R. F. (2002). *Técnicas de Cultivo Hidropônico e de Controle Ambiental no Manejo de Pragas, Doenças(Hidroponia)*. Funep, Jaboticabal, SP.
- Rodrigues, L. R. F. (2019). *IoT Architecture A Complete Guide*. Canada, ON.
- Santos, J. D., da Silva, A. L. L., Costa, J., and Scheidt, G. N. (2012). Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. *Journal of Environmental Management*.
- Splash Laboratório (2024). Peagâmetro (phmetro): o que é, função e modelos. Acesso em: 18 ago. 2025.
- Totvs, E. (2022). Smart farming: o que é, benefícios e principais tecnologias. <https://www.totvs.com/blog/gestao-agricola/smart-farming/>. Acesso em: 11/05/2023.
- Wildan, M. and Anisa, N. (2024). Internet of things system development and experimentation hydroponic farming. In *2024 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, page 54–59. IEEE.