

ESTUDO DE SISTEMAS EMBARCADOS NA AGRICULTURA DIGITAL

Felippe Silvério de Castro¹ (IC), Edvard Martins de Oliveira (PQ)¹¹Universidade Federal de Itajubá.**Palavras-chave:** Agricultura digital. Automação agrícola. Estufas inteligentes. IoT. Sistemas embarcados.**Introdução**

A agricultura é um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento econômico e para a segurança alimentar global. Contudo, o setor enfrenta desafios críticos, como o aumento populacional, as mudanças climáticas e a crescente demanda por produtividade aliada ao uso sustentável dos recursos naturais [Pereira, 2019]. Nesse contexto, a tecnologia emerge como uma solução estratégica, oferecendo inovações que visam otimizar os processos agrícolas de maneira mais eficiente e sustentável [Rahim et al., 2020]. Entre essas inovações destaca-se a agricultura digital, que combina tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), sistemas embarcados, sensores e redes de comunicação para criar um ecossistema agrícola mais inteligente e interconectado [Queiroz et al., 2022].

A agricultura digital permite o monitoramento preciso e em tempo real de parâmetros ambientais essenciais, como temperatura, umidade e luminosidade, utilizando sensores integrados a sistemas automatizados [Queiroz et al., 2022]. Esses dados são processados por sistemas embarcados, com microcontroladores que gerenciam de forma autônoma atuadores responsáveis por ajustes em sistemas de irrigação, ventilação e iluminação. Isso aumenta a eficiência no uso de insumos, como água e fertilizantes, e reduz a necessidade de intervenção manual, favorecendo uma agricultura de precisão [Rahim et al., 2020]. A integração com a IoT permite que essas operações sejam monitoradas e controladas remotamente, garantindo que os agricultores possam gerenciar suas plantações a distância, com base em dados em tempo real [Chen et al., 2019].

Este projeto propõe o desenvolvimento de uma mini estufa inteligente equipada com sensores de umidade, temperatura e luminosidade, além de um sistema de controle automático baseado em IoT. O sistema será gerenciado via protocolo MQTT, permitindo o monitoramento e controle remoto dos parâmetros ambientais através de dispositivos móveis ou computadores conectados à internet.

O objetivo central deste projeto é melhorar a eficiência do cultivo em ambientes controlados, otimizando o uso de recursos e promovendo a sustentabilidade. A automação das operações visa reduzir os custos operacionais e aumentar a produtividade, oferecendo uma solução acessível e escalável para agricultores de diferentes níveis tecnológicos. O projeto também tem potencial para contribuir com a pesquisa e o desenvolvimento de novas soluções tecnológicas para a agricultura, promovendo um uso mais racional dos recursos naturais e avançando a aplicação de tecnologias digitais no campo.

Metodologia

A metodologia aplicada no desenvolvimento deste projeto de monitoramento remoto de uma estufa envolve o uso de sensores, atuadores, sistemas embarcados e protocolos de comunicação, visando aumentar a produtividade agrícola, reduzir custos e otimizar o uso de insumos. O sistema foi projetado para permitir que o agricultor monitore e controle remotamente o ambiente da estufa por meio de sensores e atuadores integrados a uma ESP-WROOM-32.

O sistema de monitoramento da estufa utiliza diversos sensores para coletar informações essenciais sobre o ambiente. Entre eles, o sensor de luminosidade (LDR) mede a intensidade da luz disponível, garantindo que as plantas recebam iluminação suficiente para o crescimento [Pereira et al., 2019]. O sensor de temperatura (NTC) é responsável por monitorar a temperatura do ar, assegurando que o ambiente esteja dentro dos parâmetros adequados para o desenvolvimento das culturas [Queiroz et al., 2022]. Já o sensor de umidade do solo (HW-080) detecta o nível de umidade no solo, fornecendo dados cruciais para o sistema de irrigação, que mantém o solo nas condições ideais para o cultivo [Rahim et al., 2020].

Além dos sensores, o sistema conta com diversos atuadores que são acionados automaticamente conforme as necessidades da estufa. As **lâmpadas de LED** são ligadas quando a intensidade de luz é

insuficiente, proporcionando luz suplementar para o crescimento das plantas. O **cooler** é ativado para garantir a ventilação e controle térmico, quando a temperatura ultrapassa os níveis predefinidos. O **sistema de irrigação**, por sua vez, é acionado quando o solo está com baixa umidade, assegurando a irrigação adequada e constante para as plantas. Esses componentes trabalham em conjunto para garantir um ambiente controlado e otimizado para a produção agrícola, com intervenção mínima do agricultor.

A programação lógica foi implementada na **ESP-WROOM-32**, uma plataforma de microcontrolador integrada com WiFi, utilizando a **IDE do Arduino** para desenvolvimento do código. A ESP-WROOM-32 é responsável por processar os dados dos sensores e controlar os atuadores de acordo com as condições monitoradas [Souza et al., 2018].

O monitoramento remoto foi implementado por meio do protocolo de comunicação **MQTT** (Message Queuing Telemetry Transport), que permite a troca de mensagens entre o sistema da estufa e o usuário. A configuração do cliente MQTT foi realizada utilizando o software **MQTTBox** e o broker gratuito **HiveMQ**, onde o sistema publica tópicos para o controle dos atuadores e inscreve-se em tópicos para monitoramento dos dados dos sensores [Banks et al., 2014].

A Figura 01 ilustra a estrutura de envio de dados utilizando o protocolo de comunicação MQTT. O exemplo apresentado refere-se à publicação do tópico de temperatura medida pelo sensor, com a possibilidade de conexão de dispositivos eletrônicos, para o recebimento dessas informações.

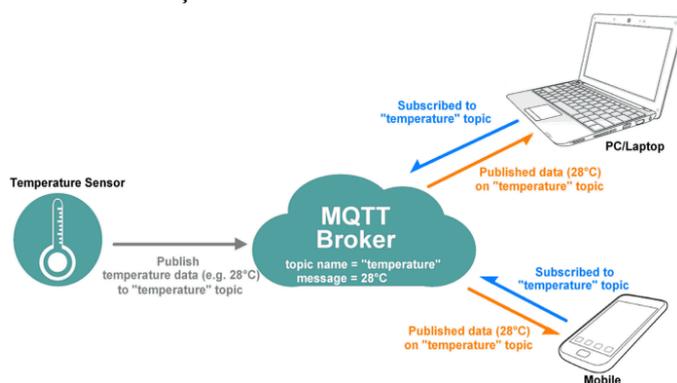


Figura 01 - Envio de dados pelo MQTT [Robocore, 2024]

Para o monitoramento remoto, dados referente ao sistema analisado são enviados em tempo real para dispositivos como computadores e smartphones. A aplicação utilizada foi feita em um dispositivo Android, no qual se utilizou o aplicativo **MyMQTT** para permitir o acompanhamento e controle do sistema. Além disso,

foi implementado um sistema de alertas via **WhatsApp**, utilizando um bot para enviar notificações ao agricultor caso o sistema apresente falhas, facilitando a intervenção imediata.

A interface MQTT permite o monitoramento contínuo e o controle remoto dos atuadores. O agricultor pode acompanhar, em tempo real, se os sistemas de iluminação, ventilação e irrigação estão ativos, além de verificar as condições ambientais como temperatura e umidade do solo. O sistema de alerta via WhatsApp serve como um mecanismo adicional de segurança, enviando mensagens automáticas caso seja detectada alguma falha no sistema, garantindo que o agricultor possa intervir rapidamente.

Essa metodologia possibilita o acompanhamento eficiente das condições da estufa, otimizando os recursos e automatizando o processo de controle ambiental, contribuindo para a sustentabilidade e o aumento da produtividade agrícola.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos com o sistema de monitoramento remoto da estufa inteligente foram satisfatórios, alcançando os objetivos esperados. O sistema demonstrou a capacidade de ajustar as variáveis ambientais para diferentes tipos de plantio e cultivo, oferecendo flexibilidade para o agricultor. Através da programação do código, é possível modificar variáveis como a intensidade de iluminação, a quantidade de água necessária para manter a umidade do solo na porcentagem ideal, e a temperatura do ambiente, ajustada pelo sistema de ventilação. Esse controle dinâmico permite um ambiente de cultivo altamente personalizado, adequado às necessidades de diferentes plantas e culturas.

Além disso, a implementação da comunicação via protocolo MQTT foi bem-sucedida. O sistema conseguiu publicar tópicos relacionados ao monitoramento das grandezas físicas, como temperatura e umidade, e ao status dos atuadores, possibilitando a verificação de quais estavam ativos. O controle remoto do sistema foi outro aspecto positivo: o agricultor, mesmo longe da estufa, conseguiu acionar manualmente os sistemas de iluminação, ventilação e irrigação por meio de um smartphone ou computador, desde que tivesse acesso à internet e estivesse inscrito no broker desenvolvido pelo projeto. Essa flexibilidade oferece conveniência e maior eficiência no manejo das operações, permitindo que as condições ambientais sejam ajustadas em tempo real.

Um ponto de atenção identificado durante a implementação prática do protótipo foi o comportamento do sensor de umidade de solo **HW-080**. Inicialmente, o sistema pretendia utilizar a saída analógica do sensor para obter medições precisas da umidade do solo. No entanto, houve um conflito entre o sensor e o protocolo de comunicação MQTT. Quando o broker estava ativo, o sensor não transmitia corretamente os dados analógicos. Para contornar o problema, foi necessário alterar a configuração do sensor para a saída digital. Embora isso tenha resolvido o conflito, a mudança comprometeu a precisão do monitoramento da umidade do solo, uma vez que o sistema passou a trabalhar apenas com a indicação de "ligado" ou "desligado", em vez de um valor exato da umidade. O acionamento da irrigação, portanto, foi ajustado para ocorrer quando a umidade fosse menor do que o nível regulado manualmente no sensor.

Em resumo, o sistema demonstrou ser robusto e eficiente, seguindo uma arquitetura de monitoramento remoto semelhante à apresentada na Figura 02, diferenciando-se apenas na ausência de um banco de dados. O sistema oferece flexibilidade para adaptação a diferentes tipos de cultivo, mas apresenta limitações na precisão do monitoramento da umidade do solo, devido ao uso do sinal digital do sensor HW-080. Isso aponta para a possibilidade de futuras melhorias, como a integração de sensores que não interfiram no protocolo de comunicação e possibilitem um monitoramento mais detalhado das condições do solo.

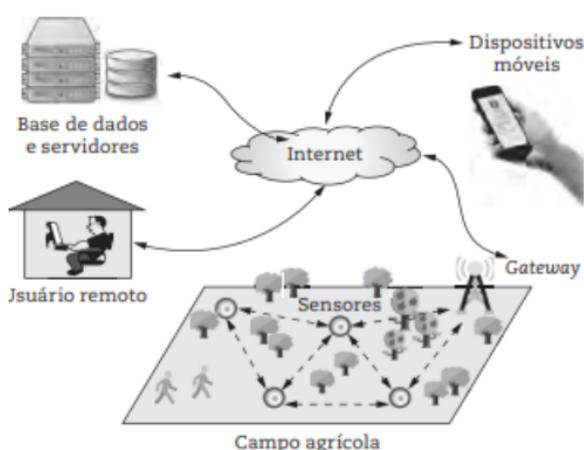


Figura 02 - Arquitetura de Monitoramento Remoto [Queiroz et al., 2022]

Conclusões

O sistema de monitoramento remoto desenvolvido mostrou grande potencial para aplicação em diversas áreas de plantio e cultivo na agricultura. Sua principal vantagem está na flexibilidade oferecida para a modificação das variáveis de controle, o que permite uma adaptação dinâmica a diferentes tipos de cultivo. A lógica programada no código possibilita que os atuadores sejam acionados de acordo com as medições realizadas pelos sensores, garantindo que as condições ideais para o desenvolvimento das plantas sejam mantidas de forma automatizada.

Com o avanço da agricultura moderna e a adoção crescente de tecnologias baseadas na Internet das Coisas (IoT), o sistema desenvolvido é uma solução acessível para pequenos e médios agricultores que desejam ingressar na automação sem realizar grandes investimentos. Os componentes utilizados, como sensores, atuadores, microcontroladores e o protocolo de comunicação, são acessíveis e viáveis para a realidade de muitos agricultores. Apesar disso, é importante ressaltar que existem sistemas comerciais mais avançados disponíveis no mercado. No entanto, o projeto apresentado tem o mérito de ser uma contribuição para a pesquisa e o estudo na área de agricultura digital, além de servir como base para o desenvolvimento de soluções tecnológicas mais acessíveis.

O protocolo de comunicação **MQTT** desempenhou um papel crucial na operação do sistema, criando uma rede de monitoramento eficiente. Por meio do MQTT, os dados do sistema são publicados e recebidos com a necessidade apenas de uma conexão à internet, permitindo que o agricultor faça o controle remoto de seus equipamentos e tenha uma visão completa das condições da estufa. Essa funcionalidade proporciona uma grande conveniência, permitindo que o agricultor tome decisões em tempo real, mesmo quando está longe do local de cultivo.

Como sugestão para projetos futuros, a integração de um banco de dados poderia ser considerada. Isso possibilitaria a análise detalhada do histórico de monitoramento, oferecendo análises mais profundas sobre o desempenho do sistema e permitindo a implementação de ações ainda mais eficazes. Essa evolução seria um passo importante para aumentar a inteligência do sistema e auxiliar ainda mais no desenvolvimento da agricultura digital.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha sincera gratidão às seguintes pessoas e instituições, cuja contribuição foi fundamental para a realização deste trabalho:

Aos meus pais, **Rita Silvério Pereira de Castro** e **Antônio José de Castro**, por todo o esforço incansável para me proporcionar uma educação de qualidade e por me motivarem a cada passo do caminho.

À **Universidade Federal de Itajubá**, instituição pública de excelência, que me proporcionou o ambiente e os recursos necessários para o desenvolvimento dos meus estudos e projetos, permitindo minha formação contínua.

Ao professor **Edvard Martins de Oliveira**, pela disposição e orientação valiosa ao longo do projeto, sempre contribuindo para o meu aprendizado e crescimento acadêmico.

À agência financiadora **PIBIC Fapemig**, cujo apoio foi essencial para a viabilização desta pesquisa. A todos, meus mais profundos agradecimentos.

Referências

QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M.; PINTO, F. A. C.; BORÉM, A. **Agricultura Digital**. 2. ed. atualizada e ampliada. 2022.

PEREIRA, D. N. d. O. **Smart estufa - monitoramento e integração com IoT na estufa hidropônica da Universidade Federal Fluminense - Campus Praia Vermelha**. Universidade Federal Fluminense, 2019. 18 p.

RAHIM, N. A.; ZAKI, F.; NOOR, A. **Smart app for gardening monitoring system using IoT technology**. *System*, v. 29, n. 04, p. 7375–7384, 2020. 13 p.

BANKS, A.; GUPTA, R. **MQTT Version 3.1.1**. OASIS Standard, 2014.

ROBOCORE. **Envios de dados pelo MQTT**. Disponível em: https://www.robocore.net/upload/tutoriais/295_img_9_H.png. Acesso em: 02 out. 2024.

CHEN, F.; HAN, J.; XU, W.; MA, X.; LUO, Z.; WANG, Y. **The application of Internet of Things (IoT) in agricultural production and sustainable development**. *IEEE Access*, 2019.

SOUZA, VITOR AMADEU. **Programando o ESP32 no Arduino**. Clube de Autores, 2018.