ESTUFA AUTOMATIZADA BASEADA EM IOT PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL COM ESP32

Josiely Aparecida do Espírito Santo Toledo, Laura Luiz Trigo, Hélio Lourenço Esperidião Ferreira.

Universidade do Vale do Paraíba, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, josielytoledo@univap.br, ltrigo@univap.br, helioesperidiao@gmail.com.

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma estufa automatizada baseada em Internet das Coisas (IoT) para monitoramento ambiental e controle automatizado das condições internas do ambiente monitorado. O sistema foi desenvolvido utilizando o microcontrolador ESP32 integrado a sensores de umidade do solo, temperatura e umidade do ar, além de atuadores responsáveis pelo controle da irrigação e circulação de ar. A comunicação entre os dispositivos e o sistema remoto foi realizada por meio do protocolo MQTT, permitindo transmissão contínua dos dados ambientais e monitoramento em tempo real por meio de uma interface web. Durante os testes realizados, o sistema apresentou funcionamento estável na coleta, transmissão e visualização das informações ambientais, além do acionamento automatizado dos atuadores conforme os parâmetros definidos para controle da estufa. Os resultados obtidos demonstram a aplicabilidade das tecnologias IoT em propostas voltadas ao monitoramento ambiental e automação de ambientes controlados, utilizando soluções acessíveis e integradas entre hardware, software e comunicação em rede.

Palavras-chave: IoT. ESP32. Monitoramento Ambiental. Automação. Irrigação.

Área do Conhecimento: Engenharias.

Introdução

A Internet das Coisas (IoT) representa uma abordagem tecnológica voltada à integração entre dispositivos físicos conectados, permitindo a coleta, processamento e transmissão de dados de maneira autônoma, com menor intervenção humana (LEE *et al.,* 2017). Desde que o termo *Internet of Things* foi introduzido por Kevin Ashton em 1999, a IoT tem passado por uma rápida expansão, impulsionada pela miniaturização de componentes eletrônicos, pelo avanço das redes sem fio e pela crescente disponibilidade de conectividade global (HEDI *et al.,* 2017). Esse progresso tecnológico permitiu a incorporação de sensores, atuadores e interfaces de comunicação em objetos cotidianos, fazendo com que bilhões de dispositivos estejam hoje interconectados em escala mundial (ATZORI *et al.,* 2010). Essa ampla conectividade possibilita aplicações que abrangem desde cidades inteligentes e automação industrial até sistemas de monitoramento ambiental e agricultura de precisão. A IoT baseia-se na integração entre sensores, comunicação em rede e plataformas em nuvem, possibilitando monitoramento contínuo e a tomada de decisão automatizada (BERTE *et al.,* 2018).

A literatura destaca que a IoT não é apenas um conjunto de dispositivos interconectados, mas um ecossistema estruturado em múltiplas camadas, como dispositivos, rede, plataforma e serviços que atuam de forma integrada para fornecer automação, inteligência e acessibilidade (BERTE *et al.,* 2018). Nesse contexto, sensores têm papel central ao capturar informações do ambiente, enquanto protocolos leves e de baixa largura de banda, como MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), viabilizam a transmissão eficiente desses dados para plataformas em nuvem responsáveis por armazenamento, processamento e visualização por meio de dashboards interativos (KHAN *et al.,* 2021; KONESKI *et al.,* 2018). Esse modelo arquitetural permite que sistemas IoT operem com eficiência mesmo em ambientes com recursos computacionais limitados (GUBBI *et al.,* 2013).

Apesar de seu avanço, o ecossistema IoT enfrenta desafios importantes relacionados à heterogeneidade tecnológica, segurança, escalabilidade e confiabilidade da comunicação. Como apontam estudos, muitos dispositivos operam em redes instáveis ou restritas, exigindo arquiteturas robustas e protocolos tolerantes a falhas capazes de manter a comunicação mesmo em condições adversas. Nesse sentido, microcontroladores como o ESP32 associados a serviços de nuvem tornam-se alternativas viáveis e de baixo custo para aplicações reais, ao oferecerem conectividade Wi-Fi, flexibilidade de programação e suporte integrados a protocolos utilizados como MQTT (BHAGANAGARE *et al.,* 2025).

Nesse contexto, aplicações de IoT voltadas ao monitoramento ambiental têm ganhado espaço em sistemas de agricultura inteligente, nos quais o controle de variáveis como temperatura, umidade do ar e umidade do solo é essencial para o desenvolvimento adequado das culturas. Estudos recentes apontam que a utilização de sensores integrados a sistemas automatizados pode contribuir para a otimização do uso de recursos, como água e energia, além de auxiliar no manejo agrícola (BERTOLLO *et al.,* 2022). A automação de processos, como a irrigação baseada em parâmetros ambientais, também representa uma alternativa para redução de desperdícios e maior controle das condições do ambiente, especialmente em estufas e sistemas de cultivo monitorados (OLIVEIRA *et al.,* 2024).

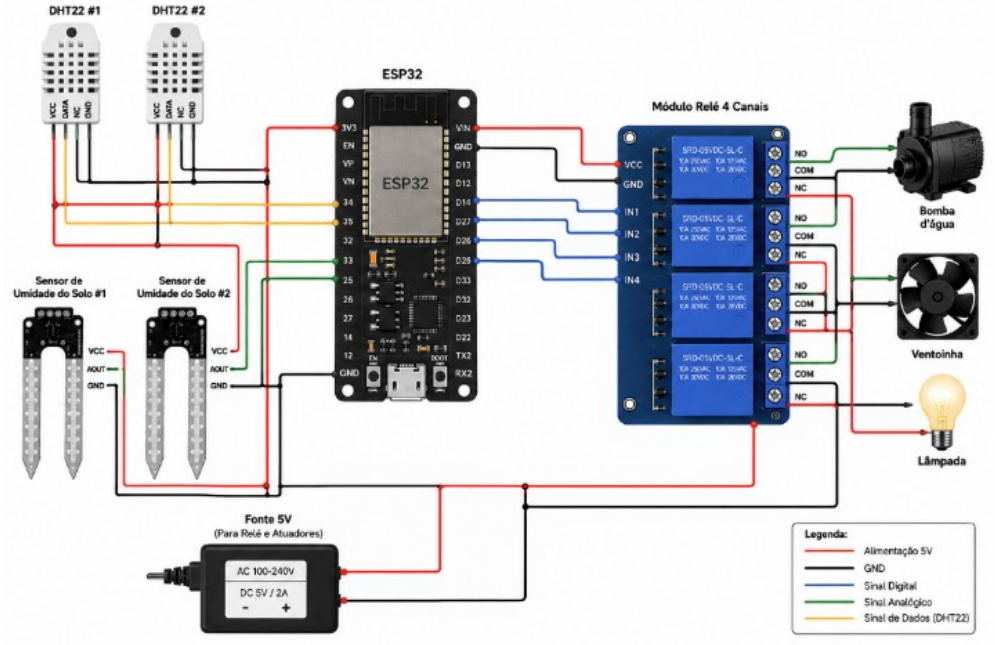
Diante desse cenário, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema baseado em IoT para monitoramento ambiental e automação de irrigação, integrando sensores, dispositivos embarcados e comunicação em rede, com o objetivo de avaliar a aplicação dessas tecnologias em um ambiente controlado de monitoramento ambiental.

Metodologia

O desenvolvimento do sistema foi proposto a partir de uma abordagem prática e experimental, com o objetivo de implementar uma estufa automatizada para monitoramento e controle de variáveis ambientais utilizando tecnologias de Internet das Coisas (IoT). O trabalho envolveu etapas de simulação, implementação do *hardware* e integração entre os dispositivos e a interface de monitoramento. Inicialmente, o sistema foi validado em ambiente virtual utilizando a plataforma *Wokwi*, que permite simular circuitos eletrônicos. Essa etapa possibilitou testar previamente a lógica do sistema, o comportamento dos sensores e o acionamento dos atuadores, reduzindo erros antes da implementação física. A estrutura foi construída utilizando uma caixa de vidro com tampa em MDF, proporcionando visualização do ambiente interno e organização dos componentes. A tampa foi utilizada como base para fixação dos dispositivos, sensores e atuadores. O sistema embarcado utilizou o microcontrolador ESP32, responsável pela leitura dos sensores, processamento das informações e comunicação com o sistema remoto. O ESP32 foi conectado a uma placa de expansão para facilitar a alimentação e organização das conexões.

Para o monitoramento ambiental, foram utilizados sensores DHT22 para medição da temperatura e umidade do ar e sensores de umidade do solo para acompanhar as condições de irrigação das plantas. Os sensores foram posicionados para representar as condições ambientais no interior da estufa. O controle foi realizado por atuadores acionados por um módulo relé de quatro canais, incluindo uma bomba d'água para irrigação automática, uma lâmpada para auxílio no controle térmico e uma ventoinha para circulação do ar. A bomba foi conectada a um reservatório externo e a ventoinha instalada na tampa da estufa. A Figura 1 apresenta o esquema elétrico utilizado na integração dos componentes do sistema.

Figura 1 - Esquema elétrico do sistema de monitoramento e controle da estufa automatizada.



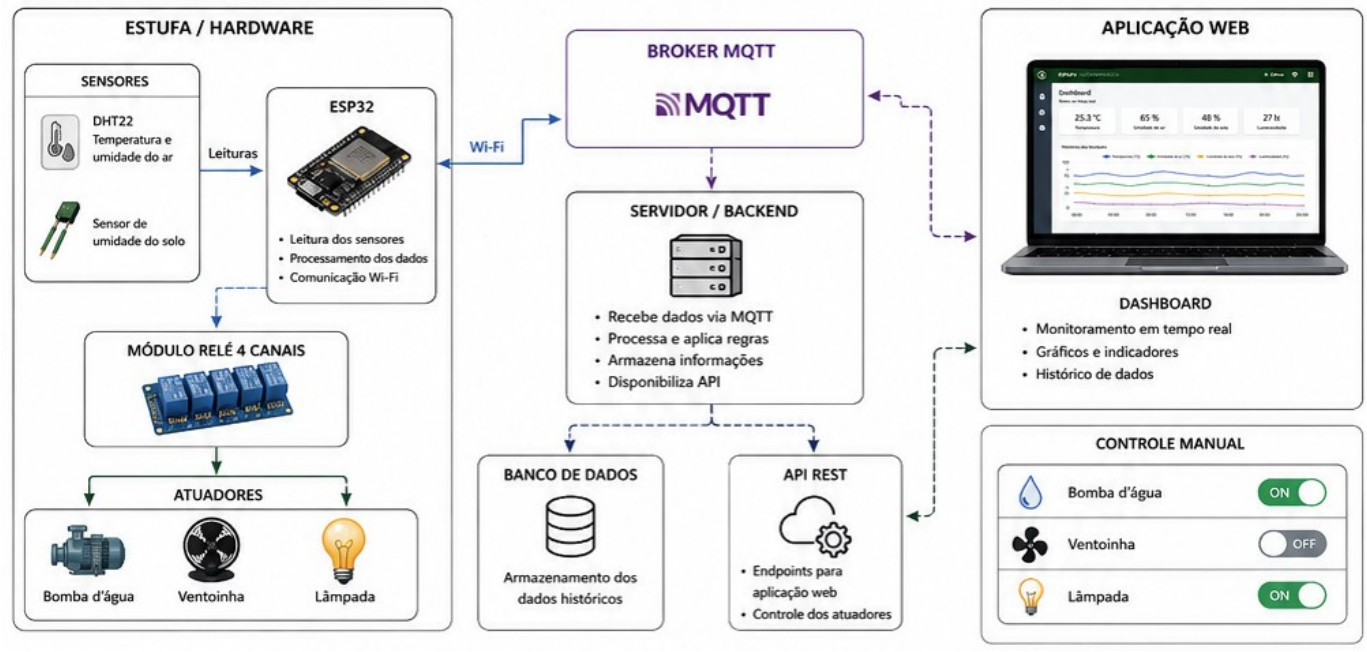
Fonte: Autoras (2026).

A integração elétrica dos componentes foi realizada por meio do ESP32, responsável por receber os dados dos sensores e enviar os sinais de controle ao módulo relé para o acionamento dos atuadores. A alimentação e as conexões foram organizadas de forma a permitir o funcionamento conjunto dos sensores, da bomba d'água, da ventoinha e da lâmpada. A lógica de funcionamento foi projetada para operar de forma automatizada, realizando o acionamento dos atuadores conforme os valores obtidos pelos sensores ambientais. Quando os níveis de umidade do solo atingem valores inferiores aos limites definidos, o sistema realiza automaticamente o acionamento da irrigação. Além disso, a estrutura desenvolvida também permite o controle manual dos dispositivos por meio da interface do sistema. A comunicação entre o dispositivo embarcado e o sistema remoto foi realizada via rede Wi-Fi utilizando o protocolo MQTT, escolhido devido à sua leveza e eficiência na transmissão de dados em aplicações IoT. O backend da aplicação foi desenvolvido em JavaScript, utilizando Node.js e o *framework* Express, sendo estruturado como uma API REST responsável pela comunicação entre a aplicação web e os serviços do sistema. O código foi organizado em camadas, incluindo rotas, *middlewares*, *controllers*, *services*, objetos de acesso a dados (DAO) e models.

Para a persistência das informações foi utilizado o banco de dados MongoDB Atlas, hospedado em nuvem, com o *Mongoose* empregado como ferramenta de modelagem e acesso aos dados. Foram armazenadas informações referentes aos usuários e dispositivos cadastrados, leituras dos sensores, estados dos atuadores e parâmetros utilizados na automação da estufa. A aplicação foi hospedada na plataforma Render, permitindo o acesso remoto ao sistema e às informações coletadas durante o funcionamento da estufa. A interface do sistema foi desenvolvida utilizando HTML, CSS e JavaScript, permitindo a visualização em tempo real das variáveis ambientais da estufa por meio de gráficos e informações visuais organizadas de forma intuitiva. A interface também possibilita o acionamento manual dos atuadores e a observação contínua das condições internas do ambiente monitorado. Dessa forma, a metodologia adotada permitiu a integração entre sensores, atuadores, comunicação em rede e interface de monitoramento, garantindo o funcionamento integrado do sistema desenvolvido.

A Figura 2 apresenta a arquitetura de integração entre os componentes físicos e computacionais utilizados no sistema. Os dados obtidos pelos sensores são processados pelo ESP32 e transmitidos pela rede Wi-Fi utilizando o protocolo MQTT. O broker MQTT realiza a comunicação com o servidor da aplicação, responsável pelo processamento das informações e pela integração com o banco de dados MongoDB Atlas e com a aplicação web. No sentido inverso, os comandos realizados pela interface podem ser enviados ao sistema para o acionamento dos atuadores, estabelecendo uma comunicação entre o ambiente físico da estufa e a aplicação de monitoramento.

Figura 2 - Diagrama de integração entre o hardware da estufa, ESP32, broker MQTT, servidor, banco de dados e aplicação web.



Fonte: Autoras (2026).

Resultados

Durante os testes realizados com o protótipo físico da estufa, foi observado funcionamento integrado entre os sensores, o ESP32, os atuadores e a aplicação web. As leituras de temperatura, umidade do ar e umidade do solo foram coletadas durante o funcionamento do sistema e disponibilizadas na interface de monitoramento. A transmissão das informações ao servidor ocorreu sem interrupções perceptíveis durante os testes, permitindo a atualização dos dados apresentados na aplicação. A Figura 3 apresenta o protótipo físico utilizado nessa etapa de avaliação.

Figura 3 - Protótipo físico da estufa automatizada, composto por estrutura em vidro com tampa em MDF, sensores ambientais e atuadores utilizados no sistema.



Fonte: Autoras (2026).

No teste do funcionamento automático, o sistema respondeu aos valores obtidos pelos sensores de umidade do solo, acionando a irrigação quando os níveis ficaram inferiores aos limites estabelecidos. Também foi verificado o funcionamento da ventoinha e da lâmpada. No modo manual, os comandos enviados pela aplicação web possibilitaram o acionamento remoto da bomba d'água, da ventoinha e da lâmpada, permitindo verificar a comunicação entre a interface e os dispositivos físicos. Por meio dos gráficos da aplicação, foi possível acompanhar as alterações nas leituras de temperatura, umidade do ar e umidade do solo durante o funcionamento da estufa. Dessa forma, os testes permitiram avaliar tanto o funcionamento automatizado quanto a intervenção manual durante a operação do protótipo. Por meio da interface web, foi possível acompanhar as alterações nas leituras de temperatura, umidade do ar e umidade do solo ao longo do funcionamento da estufa. Os gráficos facilitaram a interpretação do comportamento das variáveis ambientais e permitiram o acompanhamento contínuo das condições internas do ambiente. Em relação à automação, observou-se o funcionamento adequado dos atuadores conforme os parâmetros definidos para controle ambiental. Quando os níveis de umidade do solo atingiram valores inferiores aos limites estabelecidos, a irrigação foi acionada automaticamente, contribuindo para a manutenção das condições necessárias ao ambiente monitorado.

O controle manual disponibilizado pela interface também permitiu o acionamento remoto da bomba d'água, da ventoinha e da lâmpada durante a operação do sistema. Essa funcionalidade possibilitou avaliar a resposta dos dispositivos tanto no funcionamento automático quanto no manual. A comunicação entre o dispositivo embarcado e o sistema remoto também apresentou funcionamento estável, permitindo o envio das informações coletadas pelos sensores e o recebimento dos comandos destinados aos atuadores. Durante os testes, também foi observada integração adequada entre os componentes físicos da estufa. A ventoinha auxiliou na circulação do ar no ambiente interno, enquanto a bomba d'água realizou o fornecimento automatizado de água conforme os níveis de umidade identificados pelos sensores. A lâmpada foi utilizada como apoio ao controle das condições internas, permitindo avaliar a resposta do sistema diante das alterações das variáveis monitoradas.

A utilização de uma planta mantida em ambiente externo como referência comparativa permitiu identificar diferenças relacionadas à variação de temperatura e umidade entre o ambiente interno da estufa e o ambiente externo. Essa comparação indicou maior estabilidade das condições ambientais

no ambiente controlado, reforçando a contribuição da automação e do monitoramento contínuo para o funcionamento da estrutura. Os resultados obtidos demonstraram a integração entre os componentes físicos, a comunicação em rede e a aplicação web durante a operação do protótipo.

Discussão

A integração entre sensores, dispositivos embarcados e comunicação em rede demonstra a aplicação das tecnologias IoT em propostas voltadas ao monitoramento e automação de ambientes controlados. Essa integração permite que diferentes componentes operem de forma conectada, possibilitando coleta, transmissão e acompanhamento contínuo das informações obtidas pelos sensores. O acompanhamento contínuo das condições internas da estufa demonstra a aplicabilidade de sistemas IoT em propostas voltadas ao controle e monitoramento de ambientes automatizados. O acionamento automatizado da irrigação a partir dos níveis de umidade do solo demonstra a possibilidade de utilização de sistemas automatizados para auxiliar no controle das condições do ambiente monitorado.

Esse tipo de abordagem contribui para reduzir a necessidade de acompanhamento manual constante e favorece maior controle operacional da estufa. A comparação entre a planta mantida no ambiente interno da estufa e uma planta posicionada em ambiente externo também evidencia diferenças relacionadas à estabilidade das variáveis monitoradas, reforçando a importância do controle ambiental em estruturas automatizadas. Essa comparação permite observar que a planta posicionada externamente permanece mais suscetível às variações das condições ambientais, enquanto a utilização da estufa possibilita maior controle sobre as variáveis monitoradas. Esse comportamento reforça a importância do ambiente controlado, principalmente quando associado ao monitoramento contínuo e ao acionamento automatizado dos dispositivos.

Em comparação com trabalhos semelhantes, Santos *et al.* (2024) desenvolveram uma estufa automatizada com ESP32, sensores e atuadores, indicando o monitoramento remoto como possibilidade futura. Já Razaboni *et al.* (2024) utilizaram a plataforma Arduino Cloud para monitoramento e controle. Diferentemente dessas abordagens, o presente trabalho utiliza MQTT e uma arquitetura própria de *backend* com API REST e DAO, favorecendo a modularidade, manutenção e expansão do sistema. O acionamento automatizado dos atuadores também permite respostas mais rápidas às alterações identificadas pelos sensores durante o funcionamento do sistema. A comunicação contínua entre sensores, atuadores e interface de visualização possibilitou o acompanhamento em tempo real das informações coletadas, permitindo integração entre os dispositivos e atualização contínua dos dados monitorados, aspecto relevante em arquiteturas IoT voltadas ao monitoramento remoto (SHVAIKA *et al.,* 2024). Durante os testes realizados, a integração do ESP32 com os sensores e a comunicação via MQTT apresentou funcionamento estável, permitindo a transmissão e o acompanhamento remoto das informações coletadas.

A visualização gráfica das informações favoreceu uma interpretação mais clara dos dados coletados, facilitando o acompanhamento das variáveis monitoradas durante os testes realizados. Entretanto, é importante considerar que o sistema foi avaliado em ambiente controlado, não contemplando completamente situações presentes em aplicações reais, como variações climáticas intensas, interferências externas e longos períodos de operação contínua. Fatores relacionados à precisão das leituras e estabilidade da comunicação também podem influenciar o comportamento do sistema em cenários mais complexos.

Conclusão

O desenvolvimento da estufa automatizada possibilitou avaliar a aplicação de tecnologias IoT em propostas voltadas ao monitoramento ambiental e automação de ambientes controlados. A estrutura desenvolvida permitiu integrar sensores, dispositivos embarcados e comunicação em rede em um sistema capaz de acompanhar as condições ambientais da estufa e auxiliar no controle automatizado do ambiente monitorado. O uso de sensores ambientais associados ao acionamento automatizado dos atuadores demonstrou uma alternativa voltada ao acompanhamento contínuo das condições internas da estufa, favorecendo maior controle operacional e redução da necessidade de intervenções manuais constantes. O funcionamento integrado desses componentes permitiu que as alterações nas condições ambientais fossem identificadas e acompanhadas ao longo do período de monitoramento. Com isso, o sistema possibilitou associar a coleta de dados às ações automatizadas realizadas na estufa. A integração entre monitoramento remoto e interface de visualização reforça a aplicabilidade de tecnologias IoT em propostas voltadas ao acompanhamento de ambientes controlados. Durante o

funcionamento da estrutura, o ESP32, os sensores ambientais e a comunicação via MQTT mostraram-se adequados à implementação de uma solução de baixo custo para monitoramento e automação.

Nesse contexto, o sistema desenvolvido demonstra aplicabilidade em estudos relacionados à agricultura inteligente, automação de ambientes monitorados e utilização de arquiteturas IoT em aplicações experimentais. Dessa forma, o trabalho contribui para pesquisas voltadas à integração entre hardware, software e comunicação em rede em sistemas automatizados, possibilitando futuras ampliações e adaptações para diferentes contextos de monitoramento ambiental.

Referências

ANWAR, Adeem Ali. **A survey of semantic web (Web 3.0), its applications, challenges, future and its relation with Internet of things (IoT).** In: Web Intelligence. Sage UK: London, England: SAGE Publications, 2022. p. 173-202.

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. **The internet of things: A survey**. Computer networks, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.

BERTE, Dan-Radu et al. **Defining the iot.** In: Proceedings of the international conference on business excellence. Pearson Educational, 2018. p.118-128.

BHAGANAGARE, Sakshi et al. **Voice-Controlled Home Automation with ESP32: A Systematic Review of IoT-Based Solutions.** Journal of Microprocessor and Microcontroller Research, v. 2, n. 3, p. 1-13, 2025.

BERTOLLO, Mait, and Ricardo Abid Castillo. **Internet das coisas (IoT) e novas dinâmicas da produção agrícola no campo brasileiro.** Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia 56 (2022).

DE OLIVEIRA, Victor Inacio, et al. **Sistema de controle e monitorização IoT de uma estufa.** FTT Journal of Engineering and Business 1.9 (2024).

GUBBI, Jayavardhana et al. **Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions.** Future generation computer systems, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013.

HEDI, Ivan; ŠPEH, I.; ŠARABOK, Antonio**. IoT network protocols comparison for the purpose of IoT constrained network**s. In: 2017 40th international convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO). IEEE, 2017. p. 501-505.

KHAN, Muhammad Almas et al. **A deep learning-based intrusion detection system for MQTT enabled IoT.** Sensors, v. 21, n. 21, p. 7016, 2021.

KONESKI, Eduardo de Meireles et al. Ambiente de comunicação segura de Internet das Coisas com a utilização do MQTT e TLS. 2018.

LEE, Suk Kyu; BAE, Mungyu; KIM, Hwangnam. **Future of IoT networks: A survey**. Applied Sciences, v. 7, n. 10, p. 1072, 2017.

SANTOS, Wagner. **Material apresentado em aulas da disciplina de Internet das Coisas (IoT).** UNIVAP, 2025. Não publicado.

SHVAIKA, Dmytro I.; SHVAIKA, Andrii I.; ARTEMCHUK, Volodymyr O. **Advancing IoT interoperability: dynamic data serialization using ThingsBoard**. Journal of Edge Computing, v. 3, n. 2, p. 126-135, 2024.

RAZABONI, Amanda et al. **Projeto de estufa autônoma sustentável: integração de tecnologia inteligente para cultivo.** INIC, UNIVAP, 2024.

SANTOS, Christian Lucas Coutinho dos et al. **Protótipo microcontrolado de baixo custo e em pequena escala de estufa para cultivo de plantas.** INIC Jr., UNIVAP, 2024.