

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE CONTROLE DE NÍVEL BASEADO EM IOT COM VISUALIZAÇÃO EM TEMPO REAL

DEVELOPMENT OF A LEVEL CONTROL SYSTEM BASED ON IOT WITH REAL-TIME MONITORING

André Roberto da Silva ^{1, i}
José Sérgio Medeiros Junior ^{2, ii}
Murilo Henrique dos Santos Sibioni ^{3, iii}
Paulo José Rodolpho ^{4, iv}
Tony Emerson Marim ^{5, v}

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma solução de automação de baixo custo para fins didáticos e industriais, baseada em conceitos da Indústria 4.0 (I4.0) e da Internet das Coisas (IoT). A aplicação foi implementada em uma planta de controle de nível utilizando a plataforma DOIT DevKit que embarca o microcontrolador ESP32, o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) e a plataforma Node-RED. A técnica *Hardware-in-the-Loop* (HIL) permitiu simular o processo e validar a comunicação em tempo real. O controle Proporcional, Integral e Derivativo (PID) foi configurado visualmente, com resposta eficiente às variações do sistema. Os testes demonstraram a viabilidade da proposta quanto à conectividade, simplicidade e interface intuitiva. A solução mostra-se aplicável em contextos educacionais e na prototipagem de sistemas industriais, contribuindo para a inserção progressiva da I4.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0; IoT; Controle PID; Node-RED; MQTT.

ABSTRACT

This work presents the development of a low-cost automation solution for educational and industrial purposes, based on concepts from Industry 4.0 (I4.0) and the Internet of Things (IoT). The application was implemented in a level control plant using the DOIT DevKit platform, which incorporates the ESP32 microcontroller, the Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol, and the Node-RED platform. The Hardware-in-the-Loop (HIL) technique allowed the process to be simulated and real-time communication to be validated. The Proportional, Integral, and Derivative (PID) control was configured visually, with an efficient response to system variations. The tests demonstrated the feasibility of the proposal in terms of connectivity, simplicity, and intuitive interface. The solution proves to be applicable in educational contexts and in

¹ Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: andre.silva@sp.senai.br

² Mestre em Engenharia da Produção pela Universidade de Araraquara e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: jose.sjunior@sp.senai.br

³ Graduando em Mecatrônica Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe e Eletricista de Manutenção na Electrolux Group. E-mail: murilosibioni2@gmail.com

⁴ Mestre em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP) e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: paulo.rodolpho@sp.senai.br

⁵ Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Professor da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. E-mail: tony.marin@sp.senai.br

the prototyping of industrial systems, contributing to the progressive adoption of I4.0.

Keywords: Industry 4.0; IoT; PID Control; Node-RED; MQTT.

1 INTRODUÇÃO

A I4.0 tem promovido profundas transformações nos ambientes produtivos ao integrar tecnologias digitais aos sistemas de fabricação, ampliando o controle, a flexibilidade e a eficiência dos processos (Siraparapu; Azad, 2024). Nesse cenário, a automação industrial surge como elemento fundamental, ao oferecer maior estabilidade, segurança e agilidade operacional.

Empresas buscam adotar tecnologias emergentes de forma progressiva, por meio de projetos-piloto que facilitam a adaptação organizacional e a avaliação de resultados (Frecassetti; Rossini; Portioli-Staudacher, 2024). A IoT, nesse contexto, viabiliza o monitoramento remoto e a integração entre dispositivos, apoiada por protocolos padronizados e serviços em nuvem (Kehoe *et al.*, 2015).

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma aplicação prática de baixo custo voltada ao controle de nível, utilizando microcontrolador e uma interface visual conectada à nuvem. O objetivo é demonstrar a viabilidade técnica e funcional de soluções acessíveis e escaláveis para fins educacionais e industriais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Com a inserção da quarta revolução industrial, possibilitando a aplicação de tecnologias digitais e sistemas ciberfísicos, a I4.0 representa uma nova etapa do desenvolvimento industrial, marcada pela integração de tecnologias digitais aos processos produtivos, como automação, inteligência artificial, computação em nuvem e IoT, proporcionando conectividade, flexibilidade e maior eficiência operacional (Alcácer; Cruz-Machado, 2019). No âmbito industrial, a IoT, denominada Internet das Coisas Industrial (IIoT), possibilita a coleta e análise de dados em tempo real, otimizando recursos e promovendo a supervisão remota de processos (Bortolini *et al.*, 2017)

A adoção dessas tecnologias, no entanto, ainda enfrenta barreiras relacionadas a custos, infraestrutura e capacitação. Nesse sentido, projetos-piloto baseados em microcontroladores como o ESP32, de baixo custo e com conectividade sem fio, oferecem uma alternativa viável, especialmente em contextos educacionais e experimentais (Kumar *et al.*, 2024). Esses dispositivos possibilitam o controle de processos simples com eficiência, quando integrados a sensores, atuadores e algoritmos como o PID, amplamente utilizado para garantir estabilidade e precisão em sistemas dinâmicos (Folgado *et al.*, 2024)

A comunicação entre os componentes do sistema pode ser viabilizada por protocolos, como o MQTT, largamente adotado em aplicações IoT por sua confiabilidade e baixo consumo de banda (Wollschlaeger; Sauter; Jasperneite, 2017). Para facilitar o desenvolvimento e o controle visual da aplicação, plataformas de programação *Low-Code*, como o Node-RED, tem se mostrado eficazes ao permitir a criação de fluxos lógicos com interface gráfica acessível e integração com serviços em nuvem (Hazra *et al.*, 2021). Tais soluções favorecem a implementação progressiva dos princípios da I4.0 em ambientes educacionais e industriais.

3 METODOLOGIA

Este trabalho adotou uma abordagem aplicada e experimental, com o objetivo de desenvolver uma solução funcional e acessível para o monitoramento e operação remota de processos, fundamentada nas tecnologias da I4.0. O projeto foi estruturado em quatro etapas: concepção, fundamentação teórica, implementação e validação.

Na fase de concepção, definiram-se o escopo, os objetivos e os recursos necessários, com o apoio de um mapa mental para organizar as ideias iniciais. A etapa de fundamentação teórica contou com o uso da ferramenta Litmaps, que auxiliou na sistematização e análise das fontes científicas relevantes ao tema.

A implementação foi realizada com o microcontrolador ESP32, programado na IDE Arduino, simulando sensores e atuando como *publish* MQTT para o envio de dados ao *broker* HiveMQ. A plataforma Node-RED foi empregada para o desenvolvimento da interface gráfica e para a configuração do controle PID. Para a etapa de validação, foi utilizada a técnica HIL, permitindo testar o sistema sem a necessidade de uma planta física em operação contínua.

A solução proposta demonstrou capacidade de monitoramento remoto e controle automático com resposta em tempo real, consolidando uma arquitetura modular, funcional e de baixo custo. Essas características a tornam especialmente adequada para ambientes educacionais e para aplicações de prototipagem no contexto industrial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

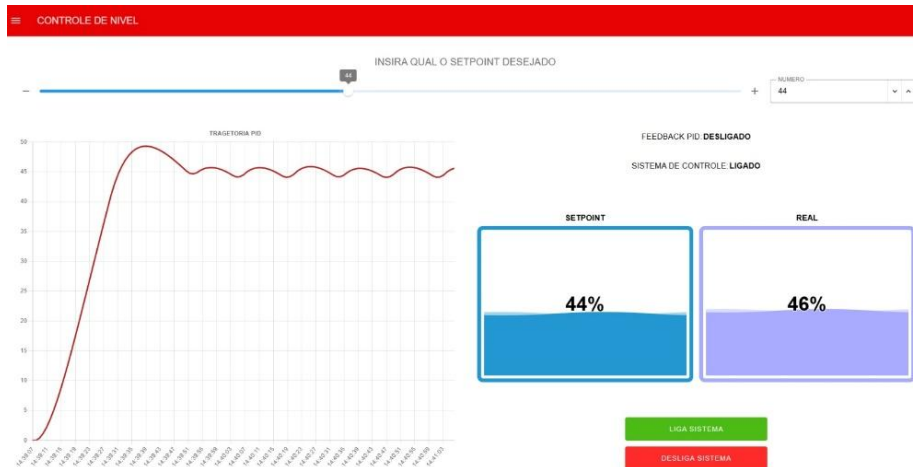
A aplicação proposta foi implementada integrando sensores simulados, microcontrolador ESP32, protocolo MQTT, a plataforma Node-RED e o controle PID. A arquitetura funcionou de forma estável, demonstrando a viabilidade técnica da solução para o controle a distância de processos em tempo real.

A técnica HIL permitiu simular o comportamento da planta sem depender de um sistema físico em operação contínua. A comunicação entre ESP32 e Node-RED, via HiveMQ, mostrou-se estável, com transmissão eficiente dos dados e retorno imediato dos comandos do controle PID.

No Node-RED, foram desenvolvidos fluxos de dados e *dashboards* utilizando a biblioteca Dashboard 2.0. A interface permitiu o ajuste dinâmico do *setpoint*, a visualização gráfica da resposta do sistema e a ativação/desativação do controle. Os valores enviados e recebidos mostraram consistência, e o sistema respondeu de forma proporcional e suave às variações do processo.

A Figura 1 apresenta a resposta do sistema à atuação do controle PID. A curva indica a tendência da variável controlada em atingir o valor de referência, validando o funcionamento do algoritmo.

Figura 1 – Controle PID



Fonte: Autores (2025)

Estes resultados indicam que a proposta atende aos requisitos de conectividade, baixo custo e aplicabilidade educacional, reforçando seu potencial como modelo de experimentação em IoT e I4.0.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma solução de automação de baixo custo com foco em aplicações educacionais e industriais, utilizando tecnologias da I4.0, como IoT, MQTT e Node-RED. A aplicação simulada demonstrou ser funcional, modular e acessível, atendendo aos requisitos de conectividade e operação à distância.

A utilização do ESP32, aliada ao protocolo MQTT e a interface gráfica no Node-RED, viabilizou o monitoramento em tempo real e a atuação do controle PID de forma eficiente. A técnica HIL permitiu simular o processo com fidelidade e baixo risco.

Os resultados demonstraram a viabilidade da solução como recurso didático ou etapa preliminar de protótipos industriais. Além disso, evidenciaram o potencial das tecnologias emergentes para promover inovação em ambientes de ensino e experimentação.

Como trabalhos futuros, sugere-se a ampliação para múltiplas variáveis, integração com inteligência artificial e conexão com plataformas de gestão industrial baseadas em nuvem.

REFERÊNCIAS

ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. Scanning the industry 4.0: A literature review on technologies for manufacturing systems. **Engineering science and technology, an international journal**, v. 22, n. 3, p. 899-919, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098618317750?via%3Dihub>. Acesso em: 14 fev. 2025.

BORTOLINI, M.; FERRARI, E.; GAMBERI, M.; PILATI, F.; FACCIO, M. Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. In: IFAC WORLD CONGRESS, 20., 2017, Toulouse. **Proceedings...** Toulouse: IFAC,

2017. p. 5700–5705. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1121>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896317316117>. Acesso em: 6 fev. 2025.

FOLGADO, F. J.; CALDERÓN, D.; GONZÁLEZ, I.; CALDERÓN, A. J. Review of Industry 4.0 from the perspective of automation and supervision systems: definitions, architectures and recent trends. **Electronics**, v. 13, n. 4, p. 782, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics13040782>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-9292/13/4/782>. Acesso em: 18 abr. 2025.

FRECASSETTI, S.; ROSSINI, M.; PORTIOLI-STAUDACHER, A. Unleashing Industry 4.0: Leveraging lean practices to overcome implementation barriers. **IEEE Transactions on Engineering Management**, 2024. DOI: [10.1109/TEM.2024.3396448](https://doi.org/10.1109/TEM.2024.3396448). Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10518120>. Acesso em: 10 mar. 2025

HAZRA, A.; ADHIKARI, M.; AMGOTH, T.; SRIRAMA, S. N. A comprehensive survey on interoperability for IIoT: taxonomy, standards, and future directions. **ACM Computing Surveys**, v. 55, n. 1, p. 1–35, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1145/3485130>. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3485130>. Acesso em: 23 abr. 2025.

KEHOE, B.; PATIL, S.; ABBEEL, P.; GOLDBERG, K. A survey of research on cloud robotics and automation. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 12, n. 2, p. 398–409, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/TASE.2014.2376492>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7006734>. Acesso em: 13 mar. 2025.

KUMAR, J.; GUPTA, R.; SHARMA, S.; CHAKRABARTI, T.; CHAKRABARTI, P.; MARGALA, M. IoT-enabled advanced water quality monitoring system for pond management and environmental conservation. **IEEE Access**, v. 12, p. 58156–58167, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3391807>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10499714>. Acesso em: 7 abr. 2025.

SIRAPARAPU, S. R.; AZAD, S. M. A. K. A framework for integrating diverse data types for live streaming in industrial automation. **IEEE Access**, v. 12, p. 111694–111708, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3441114>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10563530>. Acesso em: 26 mar. 2025.

WOLLSCHLAEGER, M.; SAUTER, T.; JASPERNEITE, J. The future of industrial communication: automation networks in the era of the Internet of Things and Industry 4.0. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, v. 11, n. 1, p. 17–27, mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/MIE.2017.2649104>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7867407>. Acesso em: 23 fev. 2025.

Sobre os autores:

i ANDRÉ ROBERTO DA SILVA



Mestre em Ciência da Computação pela UFSCar, Pós-Graduado em Indústria 4.0, Pós-Graduado em Automação da Manufatura e Graduado em Licenciatura em Ciências Exatas com habilitação em Física. Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <http://lattes.cnpq.br/1738208783371178> Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5969-245X>

ii JOSÉ SÉRGIO MEDEIROS JUNIOR



Mestre em Engenharia da Produção pela UNIARA. Pós-Graduação em Indústria 4.0. Graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica pela UNIP de Ribeirão Preto (2001). Atualmente é Professor na Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe e Engenheiro de Projetos na Tempustec Tecnologia. CV: <http://lattes.cnpq.br/5556395715782877> Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6204-0153>

iii MURILO HENRIQUE DOS SANTOS SIBIONI



Atualmente cursa o Tecnólogo em Mecatrônica Industrial pela Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe, tendo anteriormente concluído o curso técnico em Mecatrônica (2021–2022). Possui experiência na área de elétrica, com ênfase em manutenção, demonstrando domínio técnico e habilidade prática na execução e suporte a sistemas eletromecânicos e mecatrônicos. CV: <http://lattes.cnpq.br/7022991587300441> Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-1298-232X>

iv PAULO JOSÉ RODOLPHO



Possui graduação em Ciência da Computação pelo Centro Universitário Central Paulista (2001), Especialização em Formação Pedagógica para Educação Profissional pela Universidade Metodista de Piracicaba (2004) e Mestrado em Ciências pelo programa de Engenharia Mecânica na Escola de Engenharia de São Carlos (USP - 2013). Atualmente é Professor de Educação Superior na Faculdade de Tecnologia SENAI Antonio Adolpho Lobbe de São Carlos. CV: <http://lattes.cnpq.br/3915529378619804> Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-3234-0620>

v TONY EMERSON MARIM

Possui graduação em Automação Industrial pela Universidade Paulista (UNIP) e Licenciatura plena em Pedagogia pela UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, além de mestrado em Engenharia pela UFSCar – Universidade Federal de São Carlos. Atualmente, ocupa o cargo de Professor de ensino Superior na Faculdade de Tecnologia do SENAI Antonio Adolpho Lobbe. CV: <https://lattes.cnpq.br/2215850363897403> Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-8802-239X>