

# APLICAÇÃO DO MODBUS EM PLANTA SMART 4.0 PARA TREINAMENTO COM GÊMEO DIGITAL

## IMPLEMENTATION OF MODBUS COMMUNICATION IN A DIDACTIC 4.0 BENCH AIMED AT DIGITAL TWIN PROGRAMMING

Davi Gomes Paiva<sup>1</sup>

Gabriel Henrique Soares Pereira<sup>2</sup>

Guilherme Barbosa do Nascimento<sup>3</sup>

Leonardo Monteiro da Silva<sup>4</sup>

Luciano Andre dos Santos<sup>5</sup>

### RESUMO

O trabalho apresenta a implementação do Modbus TCP/IP na planta didática Exxer Smart 4.0, ampliando a interação dos alunos com o gêmeo digital e a planta física. Desenvolveu-se uma interface no TIA Portal, integrando o CLP S7-1500, a estação ET-200SP e o gêmeo digital. Realizaram-se mapeamento de entradas e saídas, configuração de registradores e testes bem-sucedidos com o gêmeo digital. A comunicação demonstrou estabilidade, e ajustes no endereçamento facilitaram a modularização e adaptação do sistema. Os avanços alcançados reforçam a viabilidade técnica da solução e seu potencial pedagógico, proporcionando um ambiente de aprendizado prático alinhado às exigências da indústria 4.0.

**Palavras-chave:** automação industrial; modbus tcp/ip; gêmeo digital; indústria 4.0; planta didática.

### ABSTRACT

This work presents the implementation of Modbus TCP/IP in the Exxer Smart 4.0 teaching plant, enhancing students' interaction with the digital twin and the physical plant. An interface was developed in the TIA Portal, integrating the S7-1500 PLC, the ET-200SP station, and the digital twin. Mapping of inputs and outputs, register configuration, and successful tests with the digital twin were performed. The communication demonstrated stability, and addressing adjustments facilitated the modularization and adaptation of the system. The advances achieved reinforce the technical feasibility of the solution and its educational potential, providing a practical learning environment aligned with the requirements of Industry 4.0.

**Keywords:** industrial automation; modbus tcp/ip; digital twin; industry 4.0; didactic plant.

## 1 INTRODUÇÃO

A automação industrial torna processos mais eficientes, e os CLPs permitem controle

---

<sup>1</sup> Graduando em Mecatrônica Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". davi.paiva6@senaisp.edu.br

<sup>2</sup> Graduando em Mecatrônica Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". gabriel.pereira71@senaisp.edu.br

<sup>3</sup> Graduando em Mecatrônica Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". guilherme.nascimento41@senaisp.edu.br

<sup>4</sup> Graduando em Mecatrônica Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". leonardo.silva271@senaisp.edu.br

<sup>5</sup> Mestrando em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas, Professor de Educação Superior na Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". luciano.santos@senaisp.edu.br

preciso. A planta Smart 4.0 do SENAI oferece aprendizado avançado com MES, Node-RED, TagoIO e protocolos IO-Link, Profinet e OPC UA. Estudos apontam que atividades práticas e interativas aceleram a aprendizagem e favorecem a compreensão de conceitos complexos, sobretudo em estudantes com maiores dificuldades (ALENCAR, 2013). Um dos principais desafios, entretanto, é o acesso limitado dos alunos à planta. Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma interface MODBUS para comunicação entre TIA Portal, gêmeo digital e planta física, mapeando entradas e saídas e documentando o processo. A solução facilita a interação dos alunos com sistemas automatizados e desenvolve competências técnicas essenciais.

### **1.1 Problema de pesquisa**

Apesar de a planta didática Exxer Smart 4.0 oferecer recursos avançados de automação e integração com gêmeo digital, o acesso e a interação dos alunos com o sistema encontram-se limitados pela interface atual, que não permite explorar plenamente os conceitos de comunicação industrial. Essa limitação dificulta a realização de testes, o entendimento prático dos protocolos e a replicação de experimentos fora do ambiente físico. Silva (2011) destaca que o uso de plantas didáticas em atividades educacionais direciona o aprendizado em diversas disciplinas, mas sua aplicação depende de interfaces que realmente ampliem a interação. Dessa forma, torna-se necessário desenvolver uma solução que amplie a conectividade e facilite a operação tanto no gêmeo digital quanto na planta física.

### **1.2 Objetivo(s)**

Implementar e validar a comunicação via protocolo Modbus TCP/IP na planta didática Exxer Smart 4.0, integrando-a ao gêmeo digital para ampliar a interação e o aprendizado dos alunos.

### **1.3 Justificativa**

O ensino de automação industrial requer prática com protocolos como Modbus TCP/IP. O acesso limitado à planta física e a ausência de recursos interativos dificultam a imersão dos alunos. A integração entre gêmeo digital e planta física permite testes simultâneos por múltiplos usuários, democratizando o aprendizado e reduzindo riscos. Martins (2021) ressalta que o gêmeo digital possibilita simulações em tempo real, tornando conceitos abstratos mais compreensíveis. Além disso, a aplicação de protocolos simples e robustos, como o Modbus TCP/IP, garante interoperabilidade entre dispositivos e favorece o desenvolvimento de competências técnicas essenciais (JÁCOME, 2018). A modularização do código e o mapeamento das I/Os fornecem base para futuras expansões, alinhando-se às demandas da Indústria 4.0.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

Neste capítulo, serão apresentadas abordagens sobre a importância de plantas didáticas para o desenvolvimento de capacidades técnicas industriais. Serão discutidas, de forma sintética, as principais abordagens para implantar um novo protocolo de comunicação com a finalidade de tornar didática uma planta que simule processos industriais, assim como os tipos e os principais usos dessas ferramentas.

### **2.1 A importância do uso de plantas didáticas para o aprendizado**

O uso de plantas didáticas industriais ganhou destaque a partir do final do século XX, impulsionado pela evolução tecnológica e pela necessidade de formar profissionais capacitados para atuar na indústria. Um estudo apresentado no Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (SILVA, 2011) analisou as capacidades técnicas dos alunos em estratégias de controle, utilizando uma planta didática como ferramenta de ensino, mostrando que a atividade direcionou o aprendizado em várias disciplinas. Além disso, pesquisa da Unesp com 400 estudantes do ensino médio revelou que ferramentas tecnológicas interativas aumentaram em 32% o rendimento em matemática e física, com melhorias de 51% para alunos com médias mais baixas e 13% para os com médias mais altas (ALENCAR, 2013). Esses dados evidenciam que atividades práticas e interativas aceleram a aprendizagem, com impacto mais expressivo em estudantes com maiores dificuldades.

## **2.2 Aplicação de um novo protocolo de comunicação para melhorar a integração dos usuários**

Um protocolo de comunicação define como dados e informações são trocados entre sistemas, dispositivos ou aplicações em uma rede, estabelecendo a formatação, transmissão e processamento das informações para garantir eficiência e confiabilidade. A rede Ethernet, em conjunto com TCP/IP, oferece um meio confiável de transporte de dados e interoperabilidade entre plataformas (JÁCOME, 2018). A escolha de um protocolo simples é fundamental; o Modbus, por exemplo, permite conectar diferentes dispositivos eletrônicos a um único barramento de forma eficiente (JÁCOME, 2018).

## **2.3 Tecnologias presentes na planta**

A integração de tecnologias avançadas em plantas didáticas é fundamental para preparar os estudantes para os desafios da Indústria 4.0. Na planta SMART 4.0, destacam-se a Internet das Coisas (IoT), a Realidade Aumentada (RA), o Gêmeo Digital e a Integração de Sistemas, que tornam o aprendizado mais interativo e alinhado às exigências industriais.

A IoT conecta dispositivos físicos via internet, permitindo a coleta e troca de dados em tempo real. Sensores e atuadores monitoram variáveis como temperatura e fluxo, favorecendo o entendimento prático de processos e a implementação de manutenção preditiva.

A RA sobrepõe informações digitais a equipamentos reais, auxiliando na visualização de componentes internos, fluxos e procedimentos, tornando conceitos abstratos mais compreensíveis (Martins, 2021).

O Gêmeo Digital cria uma réplica virtual de sistemas físicos, simulando seu comportamento em tempo real. Isso permite aos estudantes testarem cenários operacionais sem riscos, otimizando aprendizado e processos.

A Integração de Sistemas conecta subsistemas e componentes da planta, assegurando operação coordenada e aproximando o aprendizado da realidade industrial, desenvolvendo competências profissionais essenciais.

Essas tecnologias enriquecem o ensino, preparando futuros profissionais para ambientes industriais digitalizados e interconectados.

## **3 METODOLOGIA**

Essa pesquisa bibliográfica e experimental visa implementar o protocolo MODBUS na planta didática Exxer Smart 4.0. Buscou-se estabelecer a comunicação entre o CLP Siemens S7-1500, a estação remota ET-200SP e o gêmeo digital, possibilitando que os alunos testem e compreendam o protocolo virtualmente antes do uso físico da planta. A

metodologia foi estruturada em quatro etapas principais:

### **3.1 Validação do Endereçamento do Gêmeo Digital**

A validação dos endereços de comunicação do gêmeo digital foi realizada com o software Modscan. Essa etapa permitiu identificar os endereços de cada componente, tanto entradas quanto saídas digitais e analógicas. O mapeamento das I/Os foi estruturado em planilha, assegurando consistência entre os sinais virtuais e físicos e fornecendo uma base confiável para as etapas subsequentes.

### **3.2 Desenvolvimento do Software de Comunicação**

No TIA Portal, utilizando o CLP Siemens S7-1500 como Client MODBUS TCP, para ler e escrever dados nos registradores do gêmeo digital, simulando a operação de controle da planta. Foram configurados parâmetros como endereço IP, porta, tipo de função MODBUS e tempo de troca das informações. Funções de leitura e escrita trata os valores de Holding Register em bits correspondentes aos componentes da planta. Os blocos foram integrados à lógica principal, com variáveis auxiliares para o tratamento dos dados.

### **3.3 Implementação do Bloco de Comunicação MODBUS**

Dois blocos de função baseados no MB\_CLIENT foram elaborados, um destinado ao envio de comandos e outro à leitura de variáveis, encapsulando a lógica de comunicação entre o S7-1500 e a ET-200SP, configurada como Server MODBUS. Ela recebe comandos e envia os status das variáveis ao S7-1500 permitindo a troca de informações, garantindo comunicação bidirecional. O bloco de comunicação do MB\_SERVER foi configurado para múltiplos acessos, respeitando as limitações do modelo da CPU, de modo a garantir maior flexibilidade na integração.

### **3.4 Integração do Cliente MODBUS (MB\_CLIENT)**

O bloco MB\_CLIENT, nativo da biblioteca Siemens, foi utilizado como base para todas as comunicações MODBUS TCP/IP. Os testes contemplaram variações no tempo de resposta, simulações de falha de rede e reconexão automática. Como critérios de avaliação, foram considerados a latência de resposta nas trocas de dados, a taxa de erros de comunicação, e a estabilidade da reconexão em condições de falha. Essas etapas asseguraram não apenas a validação técnica da integração, mas também a criação de um ambiente didático para experimentação do protocolo antes do uso físico da planta.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados obtidos até o momento evidenciam avanços significativos na integração entre o gêmeo digital, o CLP S7-1500 e a planta física. Inicialmente, a interface apresentava um tempo de comunicação de aproximadamente três segundos, considerando um segundo para envio do sinal pelo bloco MB\_CLIENT e dois segundos para o recebimento da resposta. Após ajustes na configuração, esse tempo foi reduzido para 5 milissegundos, garantindo maior responsividade e aproximando o comportamento do sistema às demandas de processos industriais.

Outro avanço relevante foi a transição dos testes realizados exclusivamente no gêmeo digital para a plataforma física, possibilitando a comunicação direta do CLP com a remota por meio da máscara desenvolvida. Essa integração permitiu, por exemplo, o

controle efetivo dos cilindros elétricos reais, demonstrando que a lógica de operação não ficou restrita ao ambiente virtual e pode ser aplicada no cenário prático.

Entretanto, algumas limitações foram observadas durante os experimentos. No gêmeo digital, as válvulas são modeladas como dispositivos de três posições, exigindo dois comandos distintos (atuar e recuar) para o movimento completo do cilindro. Na planta física, as válvulas utilizadas são de duas posições, com retorno por mola, o que torna desnecessário o comando de recuo, já que o desligamento da variável de atuação faz com que o cilindro retorne automaticamente. Essa diferença exige ajustes na programação para alinhar a lógica de controle às características reais dos atuadores.

Entre os resultados esperados e próximos passos, destacam-se a possibilidade de testar a integração com múltiplos CLPs conectados simultaneamente à planta física, de modo a avaliar a escalabilidade da solução, bem como a realização de testes em ambiente educacional com participação efetiva dos alunos, o que permitirá validar o impacto da ferramenta no processo de ensino-aprendizagem.

Entre os resultados esperados e próximos passos, destacam-se a possibilidade de testar a integração com múltiplos CLPs conectados simultaneamente à planta física, de modo a avaliar a escalabilidade da solução, bem como a realização de testes em ambiente educacional com participação efetiva dos alunos, o que permitirá validar o impacto da ferramenta no processo de ensino-aprendizagem.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento da comunicação Modbus TCP/IP para a planta Smart 4.0, integrada ao gêmeo digital, evidenciou avanços relevantes e atendeu aos objetivos propostos. A implementação da máscara Modbus no TIA Portal, validada em ambiente virtual e posteriormente na planta física, confirmou a estabilidade da troca de dados entre o S7-1500, a ET-200SP e o modelo digital. A modularização do código e o mapeamento das I/Os facilitaram a compreensão do processo e possibilitaram futuras adaptações, além de ampliarem o acesso remoto por diferentes alunos simultaneamente.

Como perspectivas de continuidade, destacam-se a consolidação dos testes de comunicação bidirecional entre CLP e remota, a avaliação da escalabilidade com múltiplos CLPs conectados à planta física e a realização de experimentos em ambiente educacional com participação ativa dos alunos. Além disso, a exploração de outros protocolos de comunicação industrial, como OPC UA e Profinet, pode ampliar ainda mais a aplicabilidade e a relevância pedagógica da solução. Esses avanços reforçam o potencial do projeto para apoiar a formação prática em automação industrial e alinhar o aprendizado às exigências da Indústria 4.0.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, Vagner de. Pesquisa da Unesp, com 400 alunos de escola pública em Araraquara, SP, mostrou que interatividade melhora rendimento em 32%. *Porvir*, 1 fev. 2013. Disponível em: <https://porvir.org/estudo-relaciona-tecnologia-ao-desempenho-escolar/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

EXXER. *SMART: Plataforma de Indústria 4.0*. São Paulo: EXXER, 2024. [Catálogo].

GÊMEOS DIGITAIS: como ajudam na eficiência da sua empresa. [imagem]. *A Voz da Indústria*, 2022. Disponível em: <https://avozdaindustria.com.br/artigos/gemeos-digitais-como-ajudam-na-eficiencia-da-sua-empresa/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

IOT: o que é e como impacta a segurança eletrônica. [imagem]. *Seventh*, 2022. Disponível em: <https://www.seventh.com.br/noticia/iot-o-que-e-e-como-impacta-a-seguranca-eletronica/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

OCAÑA, Wilson Sánchez; CHANCÚSIG, Alex; GAMBOA, Ricardo; TIPÁN, Diego; SALAZAR, Elizabeth. Control and Monitoring of Electrical Variables of a Level Process using Modbus RTU-TCP/IP Industrial Communication. *Indian Journal of Science and Technology*, v. 11, n. 32, Aug. 2018. DOI: 10.17485/ijst/2018/v11i32/131113. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/339663076\\_Control\\_and\\_Monitoring\\_of\\_Electrical\\_Variable\\_of\\_a\\_Level\\_Process\\_using\\_Modbus\\_RTU-TCP/IP\\_Industrial\\_Communication](https://www.researchgate.net/publication/339663076_Control_and_Monitoring_of_Electrical_Variable_of_a_Level_Process_using_Modbus_RTU-TCP/IP_Industrial_Communication). Acesso em: 27 abr. 2025.

REALIDADE AUMENTADA: construindo múltiplas possibilidades para seu negócio. [imagem]. *Kaptiva*, 2019. Disponível em: <https://kaptiva.com.br/2019/05/20/realidade-aumentada-construindo-multiplas-possibilidades-para-seu-negocio/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

SILVA, Lyvia RB; ENDO, Wagner; LISBÔA, ARBS. Expectativas da utilização de uma planta didática industrial como objeto de aprendizagem em um curso de graduação em engenharia. In: **XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA**. 2011.