



DO PROTÓTIPO À INDÚSTRIA: INICIAÇÃO CIENTÍFICA A DISTÂNCIA COM ESP32 E OPENPLC NA FORMAÇÃO POR COMPETÊNCIAS

FROM PROTOTYPE TO INDUSTRY: REMOTE UNDERGRADUATE RESEARCH WITH ESP32 AND OPENPLC IN COMPETENCY-BASED EDUCATION

Maria Aline Gonçalves¹, Leonilson Sebastião Vicente²,
Eliane Silva Custódio³, Juliano de Mello Pedroso⁴

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v44p543-554.2025

RESUMO: Este artigo apresenta os resultados de um projeto de Iniciação Científica realizado de forma remota, no qual um estudante de Engenharia do interior de São Paulo, orientado a distância por uma professora em Curitiba, projetou, programou e validou um sistema de partida estrela-triângulo para motor trifásico utilizando ESP32 e OpenPLC. Inicialmente concebido como um protótipo, o projeto foi posteriormente implementado e testado em um ambiente industrial real, com apoio técnico da equipe de manutenção da empresa. A metodologia, fundamentada nos princípios da Educação Aberta e alinhada às Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs), integrou teoria, prática e contexto local, com ênfase na aprendizagem baseada em competências. Ao longo do processo, o estudante desenvolveu habilidades-chave como resolução de problemas, fluência em tecnologias abertas, experimentação prática, comunicação técnica e autonomia profissional. Os resultados confirmam a viabilidade de soluções educacionais de baixo custo e alto impacto e destacam o potencial da Iniciação Científica para promover inovação e fortalecer a relação entre universidade, indústria e comunidades locais.

PALAVRAS-CHAVE: Iniciação Científica; ESP32; OpenPLC; Educação Aberta; automação industrial.

ABSTRACT: This paper presents the results of a remotely conducted undergraduate research project in which an engineering student from rural São Paulo, supervised online by a professor in Curitiba, designed, programmed, and validated a star-delta starting system for a three-phase motor using ESP32 and OpenPLC. Initially planned as a prototype, the project was later implemented and tested in an actual industrial environment, with technical support from the company's maintenance team. The methodology, grounded in Open Education principles and aligned with Brazil's National Curriculum Guidelines (DCNs), integrated theory, practice, and local context, emphasizing competency-based learning. Throughout the process, the student developed key skills such as problem-solving, fluency in open technologies, hands-on experimentation, technical communication, and professional autonomy. The results confirm the feasibility of low-cost, high-impact educational solutions and highlight the potential of undergraduate research to foster innovation and strengthen the relationship between university, industry, and local communities.

KEYWORDS: Undergraduate Research; ESP32; OpenPLC; Open Education; industrial automation; remote supervision; Engineering Education.

¹ Doutora em Engenharia Elétrica, professora nos cursos de Engenharia Elétrica e Automação no Centro Universitário Internacional, maria.gon@uninter.com

² Aluno do curso de graduação em Engenharia Elétrica no Centro Universitário Internacional

³ Mestra em Engenharia Elétrica, professora nos cursos de Engenharia Elétrica e Automação no Centro Universitário Internacional, eliane.s@uninter.com

⁴ Mestre em Engenharia Elétrica, coordenador dos cursos de Engenharia Elétrica e Automação no Centro Universitário Internacional, juliano.p@uninter.com



INTRODUÇÃO

A formação de engenheiros no Brasil, conforme o estabelecido na Resolução CNE/CES nº 2/2019, deve promover o desenvolvimento de competências técnicas, sociais e éticas, articulando teoria, prática e inovação. O perfil do egresso previsto nas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) valoriza a criatividade, a visão sistêmica, a autonomia e a capacidade de resolver problemas reais com domínio técnico-científico e sensibilidade social. Esses princípios também fundamentam a avaliação nacional dos cursos de Engenharia por meio do ENADE, conforme a Portaria INEP nº 282/2023, referente ao curso de Engenharia Elétrica, e a Portaria INEP nº 235/2014, referente ao curso de Tecnologia em Automação Industrial. Ambas destacam a importância da integração entre conhecimento técnico, atuação ética, criatividade, adaptabilidade tecnológica e compromisso com os aspectos socioambientais.

A crescente desconexão entre jovens e a ciência tem preocupado governos ao redor do mundo, pois compromete a construção de uma sociedade mais sustentável, equitativa e alfabetizada cientificamente. Diante desse cenário, os cursos de Engenharia enfrentam o desafio de proporcionar experiências formativas significativas que conciliem a sólida base teórica com práticas técnicas aplicadas, mesmo em contextos de restrição de infraestrutura ou de ensino remoto. Nesse contexto, modelos internacionais, como a Educação Aberta (*Open Education*) – conceito amplamente desenvolvido na Europa –, propõem a abertura das instituições de ensino para a sociedade, promovendo o trabalho em rede com empresas, comunidades e famílias, ancorados nos princípios da Ciência Aberta e da Inovação Responsável (RRI) (Okada e Rodrigues, 2018).

A adoção desse modelo de origem europeia em países latino-americanos exige uma leitura crítica e situada. No Brasil, essa abordagem pode ser mais bem compreendida como Educação Aberta e Conectada com o Território, valorizando o saber técnico em diálogo com as realidades locais, as trajetórias dos estudantes e os saberes populares, em sintonia com perspectivas emancipadoras da educação latino-americana. Essa perspectiva dialoga com o pensamento de José Martí, educador e intelectual cubano que defendia uma educação enraizada nos contextos históricos e culturais da América Latina, voltada à autonomia, à justiça social e à libertação dos povos (Nassif, 2010). Para Martí, não se trata de importar modelos, mas de construí-los a partir das realidades vividas.

Nesse sentido, propomos a resignificação do modelo europeu CARE-KNOW-DO (Okada, 2024), traduzido como CUIDAR-SABER-AGIR: sensibilizar-se com os



problemas reais do território (CUIDAR), construir conhecimento técnico significativo em contexto (SABER) e aplicar esse conhecimento de forma prática, ética e transformadora (AGIR). A autora aponta cinco fatores desse modelo que favorecem a conexão com a ciência:

- i) confiança e aspiração científica;
- ii) participação divertida com professores, família e profissionais especialistas;
- iii) uso de metodologias ativas;
- iv) envolvimento em espaços formais e informais;
- v) valorização da ciência na vida cotidiana.

O estudo de Okada(2024) mostrou que essa conexão tende a diminuir com a idade escolar, mas pode ser reativada com projetos baseados em desafios reais.

Na graduação, a proposta de Educação Aberta se concretiza por meio de projetos pedagógicos que articulam teoria e prática a partir de demandas reais do território, promovendo o engajamento emocional, intelectual e social dos estudantes. Esse tipo de iniciativa contribui para a alfabetização científica e para a construção de capital científico, sobretudo quando associada a práticas de ciência aberta, inovação responsável e ao uso de tecnologias acessíveis, como o ESP32 e o OpenPLC. Esse último, por ser um *software* livre de código aberto desenvolvido por um brasileiro (Rodrigues Alves *et al.*, 2014), reforça o compromisso com a autonomia tecnológica e com a valorização de soluções alinhadas às realidades locais. Tais práticas favorecem o desenvolvimento das competências previstas nas DCNs, preparam os estudantes para os referenciais do ENADE e consolidam uma formação engenheira crítica, conectada e socialmente comprometida.

O projeto relatado neste artigo representa uma aplicação concreta dessa perspectiva. Desenvolvido no âmbito de um programa de Iniciação Científica, o trabalho baseia-se em tecnologias abertas e de baixo custo aplicadas à automação de motores trifásicos em ambiente industrial. O diferencial está na autonomia do estudante, que identificou a oportunidade de aplicar o projeto em uma indústria do setor de implementos rodoviários, na qual atua profissionalmente, mobilizando colegas técnicos e especialistas que contribuíram ativamente para a execução e validação do sistema. A proposta extrapolou o escopo inicial – restrito à montagem em protoboard – e alcançou um contexto real de produção, graças à proatividade e à sensibilidade do estudante em reconhecer a aplicabilidade do conhecimento em seu cotidiano profissional. A experiência ilustra como é possível, mesmo em contextos de orientação remota, articular formação acadêmica,



prática profissional e inovação tecnológica em benefício da aprendizagem e da sociedade.

ESP32 como CLP didático em ambientes educacionais

O microcontrolador ESP32 tem se consolidado como uma ferramenta de grande relevância para a formação em engenharia, devido à sua versatilidade, conectividade nativa (*Wi-Fi* e *Bluetooth*), compatibilidade com ambientes como Arduino IDE e Python e, principalmente, baixo custo. Estudos recentes demonstram seu potencial como Controlador Lógico Programável (CLP) didático, substituindo com eficiência os sistemas proprietários em simulações e aplicações reais de automação (Cherifi, Salag e Kerrouchi, 2023; Kairuz-Cabrera *et al.*, 2023).

O ESP32 permite programação e controle de entradas e saídas digitais e analógicas, prototipagem rápida de sistemas com sensores e atuadores, simulação de lógicas de programação em ambientes como o OpenPLC, além da possibilidade de monitoramento remoto e integração com dispositivos móveis por meio de conexão *Bluetooth* e *Wi-Fi*. Essas funcionalidades permitem sua aplicação em diversas áreas do conhecimento, como automação, robótica, física, biotecnologia e educação ambiental (Bezerra, Schivani e Fontoura, 2024; Márquez-Vera *et al.*, 2023). Essas características tornam o ESP32 uma plataforma altamente adequada para o ensino técnico e superior em Engenharia, especialmente em instituições com restrições de infraestrutura, ampliando o acesso a práticas reais de automação industrial.

No projeto aqui descrito, o ESP32 foi programado com o *software* OpenPLC para acionar contatores reais em uma lógica de partida estrela-triângulo para um motor trifásico. A programação foi realizada em linguagem Ladder, contemplando temporização, intertravamento e acionamento sequencial, conforme os padrões da automação industrial clássica. A prática foi realizada em ambiente real de trabalho, com validação prática e reflexão crítica por parte do estudante envolvido.

ABORDAGEM METODOLÓGICA E EPISTEMOLÓGICA

Este trabalho se insere em uma abordagem metodológica participativa, aberta e situada, inspirada nos princípios da Educação Aberta, conforme proposto por



Okada e Rodrigues (2018). A proposta se baseia na articulação entre ciência, tecnologia e sociedade, promovendo uma pesquisa e inovação responsáveis (RRI) por meio de práticas pedagógicas alinhadas com os valores e necessidades sociais. Essa abordagem compreende a construção do conhecimento com e para a sociedade, valorizando a coaprendizagem e a coinvestigação entre educadores, estudantes e profissionais da indústria. Fundamenta-se no uso de tecnologias abertas, nacionais e acessíveis como condição para democratizar o conhecimento técnico e científico, promover equidade e ampliar o engajamento dos estudantes na solução de problemas reais de seu território.

Ressalta-se que este projeto de Iniciação Científica foi realizado de forma remota, com o aluno localizado no interior de São Paulo e a orientadora em Curitiba, o que reforça o caráter autônomo da proposta e sua viabilidade no contexto da Educação Aberta. Por fim, a iniciativa proposta, conduzida no âmbito de um projeto de Iniciação Científica, articula os três pilares do modelo CUIDAR-SABER-FAZER: promove a conexão com problemas reais do setor produtivo (CUIDAR), possibilita a construção significativa de conhecimentos técnicos em contexto (SABER) e estimula ações práticas e transformadoras no ambiente de trabalho e aprendizagem (FAZER).

Planejamento técnico e educacional

As etapas do projeto foram organizadas de forma a promover o desenvolvimento das dez habilidades-chave de investigação para RRI (Okada, 2016), aplicando a metodologia proposta. Os materiais utilizados estão detalhados no Quadro 1, enquanto o escopo e o planejamento entre orientadora e aluno foram delimitados conforme listado a seguir:

Quadro 1 – Materiais utilizados em todas as etapas do projeto

Componente	Especificações
Protótipo inicial	Protoboard com ESP32, resistores, <i>switch</i> e LEDs para simulação de sinais e teste de lógica
Motor Trifásico	Motor trifásico com caixa de ligação
Contatores e Relés de Controle	Três contatores e relés de controle
Microcontrolador ESP32	Unidade de processamento principal, programado via <i>software OpenPLC</i>
Alimentação e Proteção	Conforme diagrama elétrico elaborado no <i>software Cadsimu</i> (ver Figura 4)

Fonte: elaborado pelos autores (2025).



1. Desenvolvimento da lógica de controle em linguagem *ladder* no *OpenPLC*;
2. Configuração e programação do ESP32, com uso do *software OpenPLC Editor*;
3. Montagem do protótipo físico com relés, contatores, botoeiras e sensores;
4. Implementação e testes de operação em bancada;
5. Registro e documentação colaborativa, com produção de relatórios, esquemas, diário de bordo reflexivo e vídeos de validação.

Avaliação e validação da Iniciativa

A avaliação foi baseada em três dimensões interconectadas: técnica, formativa e socioeducacional. A dimensão técnica ocorre por meio da validação do funcionamento do sistema implantado conforme especificações da empresa. A dimensão formativa abrange o acompanhamento do processo de aprendizagem do estudante por meio de diário reflexivo e reuniões com a orientadora. A dimensão socioeducacional avalia a reflexão crítica sobre os impactos sociais e éticos da aplicação e sua aderência aos princípios da pesquisa e inovação responsáveis (RRI), conforme proposto por Okada e pela Comissão Europeia (2013, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

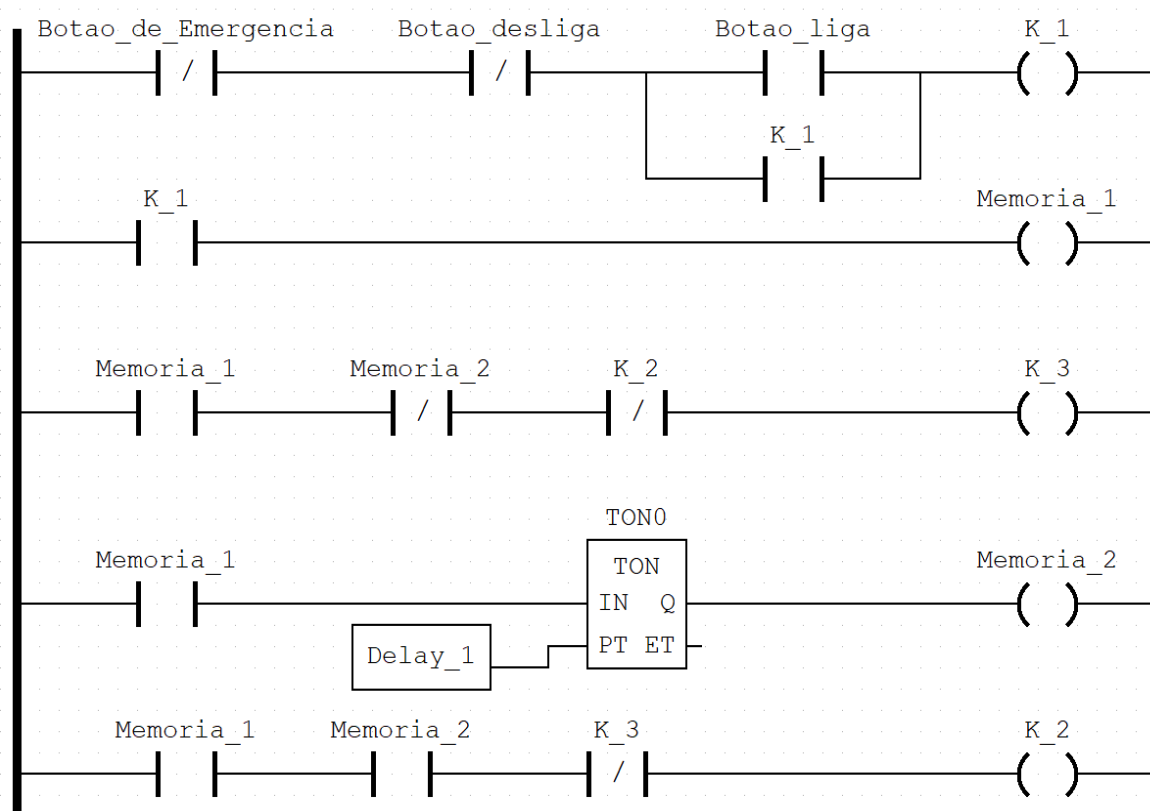
O projeto foi estruturado em três camadas principais de desenvolvimento: 1) projeto da lógica de controle em *Ladder*; 2) montagem e testes do *hardware* em protoboard; 3) integração e validação com motor em bancada industrial.

Cada camada gerou não apenas avanços técnicos, mas também evidências formativas importantes no processo de construção de competências.

Na primeira camada, o estudante desenvolveu a lógica de controle em Linguagem *Ladder* no *software OpenPLC Editor*, alinhando-se à norma IEC 61131-3. O diagrama construído (Figura 1) implementa uma lógica clássica de partida estrela-triângulo, envolvendo três contatores (K1, K2 e K3), temporização controlada por TON e botões de comando e emergência. Essa etapa promoveu o desenvolvimento das competências de raciocínio lógico, formulação de problemas e domínio de normas técnicas, além de evidenciar a fluência em tecnologias abertas.



Figura 1 – Tela da lógica de controle desenvolvido em Ladder no OpenPLC



Fonte: elaborada pelos autores (2025).

A Figura 2 apresenta a tabela de variáveis e endereçamentos utilizados. Essa etapa exigiu que o estudante compreendesse a estrutura de mapeamento de entradas e saídas digitais, reforçando o domínio de fundamentos de automação industrial e o uso de ferramentas digitais para documentação técnica.

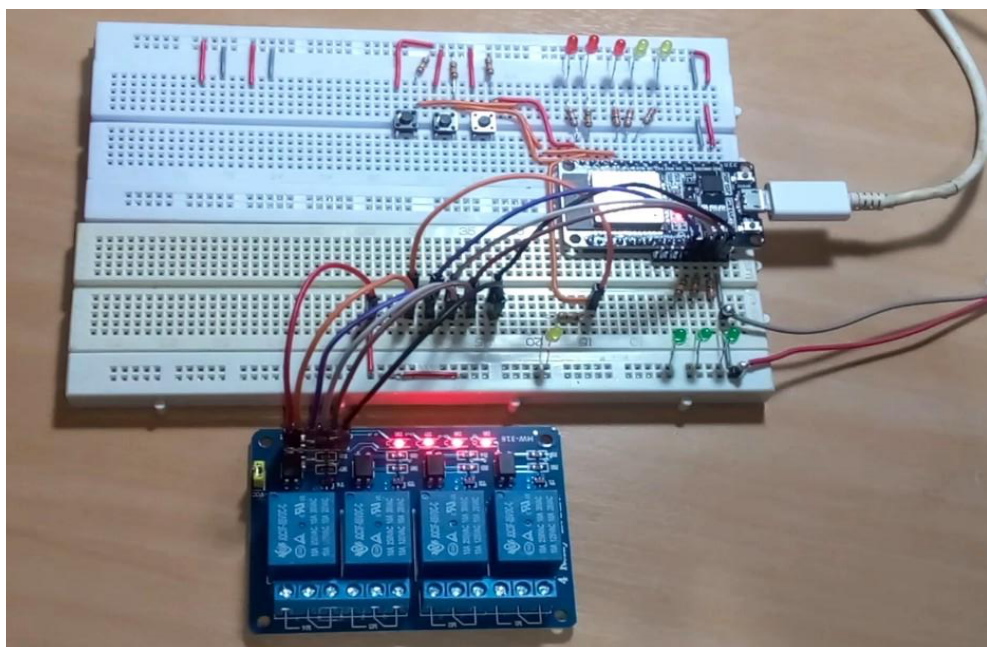
Figura 2 – Tela do projeto do OpenPLC com as variáveis configuradas para o projeto

#	Nome	Class	Type	Localização	Valor Inicial
1	Botao_liga	Local	BOOL	%IX0.5	
2	Botao_desliga	Local	BOOL	%IX0.4	
3	Botao_de_Emergencia	Local	BOOL	%IX0.3	
4	K_1	Local	BOOL	%QX0.4	
5	K_2	Local	BOOL	%QX0.3	
6	K_3	Local	BOOL	%QX0.5	
7	Memoria_1	Local	BOOL		
8	Memoria_2	Local	BOOL		
9	Delay_1	Local	TIME		T#6s
10	TON0	Local	TON		

Fonte: elaborada pelos autores (2025).

Na segunda camada, a lógica foi transferida para o ESP32, programado via conexão USB. A prototipagem em protoboard simulou os sinais de saída com LEDs (Figura 3). O estudante enfrentou e solucionou problemas de reconhecimento da placa pelo sistema operacional, aprendendo sobre instalação de *drivers* (CP210x) e o fluxo de *upload* do *firmware* no ESP32. Esse momento foi chave para o desenvolvimento de autonomia técnica, resolução de problemas em tempo real e persistência em ambientes não controlados – competências essenciais para a prática profissional.

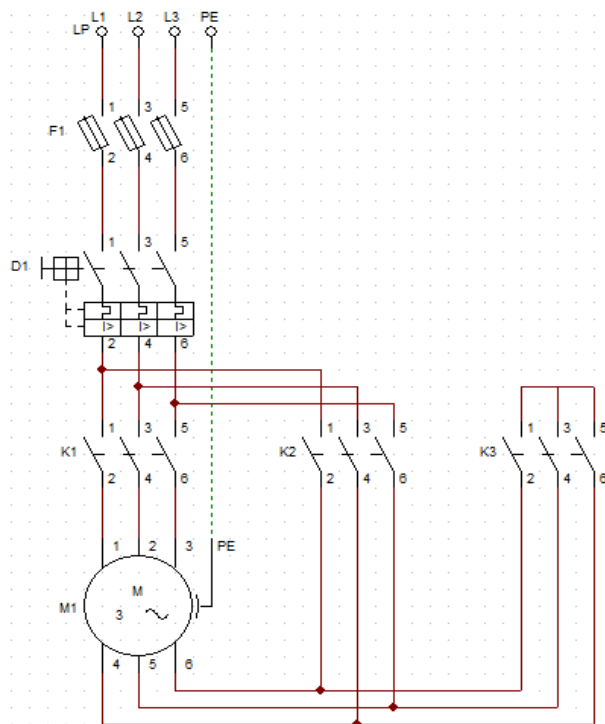
Figura 3 – Segunda camada do projeto: testes via protótipo com leds



Fonte: elaborada pelos autores (2025).

A terceira camada levou o projeto à realidade industrial. Com base no diagrama elaborado no *software* CadeSimu (Figura 4), os componentes de comando e força foram montados na planta da empresa em que o estudante atua. O processo foi acompanhado pela equipe técnica da manutenção elétrica, promovendo integração entre saberes acadêmicos e conhecimentos tácitos do chão de fábrica.

Figura 4 – Integração e validação do projeto: diagrama de ligação



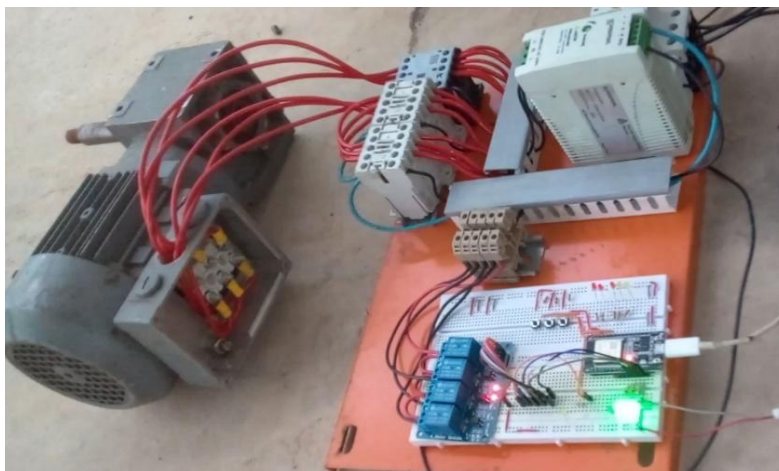
Fonte: elaborada pelos autores (2025).

Durante os testes iniciais, relés de 5 V apresentaram comportamento inesperado, acionando os contatores de forma simultânea na energização. A análise crítica do estudante permitiu identificar e resolver o problema, realocando os comandos para os contatos Normalmente Fechados (NF) dos relés. Essa correção revelou maturidade técnica, compreensão sistêmica e pensamento iterativo, além de mostrar a importância do erro como parte do processo formativo. A versão final do sistema operou com comutação adequada e intertravamento correto (Figura 5), despertando o interesse da empresa na adoção do ESP32 como solução definitiva.

A experiência relatada neste artigo evidencia o potencial multiplicador dos projetos de Iniciação Científica mediada por tecnologias abertas. Ao extrapolar o ambiente simulado e atingir o contexto industrial real, foi possível observar ganhos concretos na formação por competências, incluindo o desenvolvimento de habilidades para resolução de problemas sob demanda, adaptabilidade tecnológica e cooperação interdisciplinar. Além de favorecer o protagonismo estudantil, a interação com profissionais do setor industrial proporcionou uma aprendizagem co-construída, alinhada com práticas de Ciência Aberta e Inovação Responsável. Tal abordagem torna-se exemplo relevante para outras

instituições que busquem integrar teoria e prática de maneira inovadora e contextualizada.

Figura 5 – Integração e validação do projeto: motor com contactores



Fonte: elaborada pelos autores (2025).

O alinhamento do projeto às Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) e aos referenciais do ENADE foi garantido por meio da articulação intencional entre os conteúdos técnicos, habilidades práticas e contextos sociais vividos pelo estudante (Quadro 2). O modelo CUIDAR-SABER-AGIR foi utilizado não apenas como base teórica, mas como guia prático para todas as etapas do processo formativo, favorecendo a construção de competências técnicas e empatia social. O uso da Inovação Responsável e da Educação Aberta está em consonância com as diretrizes de promoção de autonomia, criatividade e valorização das trajetórias acadêmicas conectadas à realidade do território.

Quadro 2 – Atividades realizadas com os respectivos indicadores curriculares e avaliativos

Competência Desenvolvida	Atividades Acadêmicas	DCNs	Portaria INEP
Formulação e resolução de problemas	Levantamento da demanda real	Art. 4º, I e V; Art. 6º, §9º	Port. 235/2014, Art. 6º, IV Port. 282/2023, Art. 4º, III e Art. 5º, VII
Domínio de tecnologias digitais	Programação no OpenPLC; uso do ESP32	Art. 4º, III e IV	Port. 235/2014, Art. 6º, I e III Port. 282/2023, Art. 5º, I
Capacidade de experimentação	Protoboard, testes práticos	Art. 6º, §2º	Port. 235/2014, Art. 6º, II Port. 282/2023, Art. 5º, IV
Comunicação técnica	Relatório, reunião técnica	Art. 4º, V	Port. 235/2014, Art. 5º, III Port. 282/2023, Art. 5º, V
Atuação em equipe e eventos	Preparação para eventos científicos	Art. 4º, VI e VIII; §12	Port. 235/2014, Art. 5º, IV Port. 282/2023, Art. 4º, IV

Fonte: elaborada pelos autores (2025).



CONCLUSÕES

O projeto demonstrou não apenas a viabilidade técnica da implementação remota de soluções de automação industrial, mas também evidenciou impactos sociais e formativos relevantes. A articulação entre universidade e setor produtivo resultou em aprendizagem significativa, promovendo no estudante autonomia, senso crítico e protagonismo na resolução de problemas do território. A adoção de tecnologias abertas como ESP32 e OpenPLC potencializou a democratização do acesso ao conhecimento técnico, permitindo que soluções inovadoras fossem desenvolvidas com baixo custo e alto impacto, mesmo em contextos restritos. Esta experiência reforça a necessidade de políticas educacionais que estimulem a integração entre formação acadêmica e demandas reais do mercado, fortalecendo a empregabilidade e a capacidade de inovação dos futuros engenheiros. Recomenda-se que projetos similares sejam replicados em diferentes áreas, ampliando o escopo de práticas pedagógicas baseadas em competências e aproximando ainda mais a academia dos desafios profissionais contemporâneos.

A experiência foi conduzida remotamente – com o estudante no interior de São Paulo e a orientadora em Curitiba – evidenciando o potencial da Educação Aberta e da coaprendizagem mediada por tecnologias digitais. Essa dinâmica possibilitou o desenvolvimento de competências como pensamento crítico, resolução de problemas, comunicação técnica e domínio de ferramentas de automação industrial, sempre ancoradas em situações reais e contextualizadas. O uso do ESP32 e do OpenPLC, aliado a uma lógica de controle tradicional (estrela-triângulo), mostrou-se eficaz tanto do ponto de vista técnico quanto do pedagógico. O caráter de código aberto dessas ferramentas ampliou o acesso à prática profissional qualificada, favorecendo a autonomia tecnológica e a adoção de soluções conectadas às realidades locais.

Os ganhos educacionais foram expressivos: o estudante não apenas adquiriu novos conhecimentos técnicos, mas também desenvolveu autonomia, capacidade de comunicação e senso de aplicabilidade dos saberes na resolução de problemas concretos do ambiente de trabalho. O projeto superou os objetivos inicialmente traçados, demonstrando o valor da Iniciação Científica como espaço de inovação, protagonismo e articulação entre universidade, indústria e território. A experiência confirma que, mesmo em contextos de orientação remota, é possível integrar formação acadêmica, prática profissional e inovação tecnológica em benefício da aprendizagem e da sociedade.



Agradecimentos

Os autores agradecem à Uninter pelo apoio financeiro e pelo comprometimento com este empreendimento de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BEZERRA, I.; SCHIVANI, M.; FONTOURA, G. Solar ultraviolet radiation: didactic prototype and investigations in northeastern Brazil. **Physics Education**, [s. l.], v. 59, n. 6, p. 065010, 1 nov. 2024.
- CHERIFI, T.; SALAG, A.; KERROUCHI, S. Development of an educational low-cost and ESP32-based platform for fundamental physics. **Computer Applications in Engineering Education**, [s. l.], v. 31, n. 6, p. 1796-1807, nov. 2023.
- KAIRUZ-CABRERA, D. *et al.* Proposal of a programmable logic controller based on open hardware. **ITEGAM- Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (ITEGAM-JETIA)**, [s. l.], v. 9, n. 42, 2023.
- MÁRQUEZ-VERA, M. A. *et al.* Microcontrollers programming for control and automation in undergraduate biotechnology engineering education. **Digital Chemical Engineering**, [s. l.], v. 9, p. 100122, dez. 2023.
- NASSIF, R. **José Martí**. [S. l.]: Editora Massangana(Coleção educadores), 2010.
- OKADA, A. A self-reported instrument to measure and foster students' science connection to life with the CARE - KNOW - DO model and open schooling for sustainability. **Journal of Research in Science Teaching**, [s. l.], v. 61, n. 10, p. 2362-2404, dez. 2024.
- OKADA, A.; RODRIGUES, E. A Educação Aberta com Ciência Aberta e Escolarização Aberta para Pesquisa e Inovação Responsáveis. In: TEIXEIRA, C. S.; SOUZA, M. V. D. **Educação Fora da Caixa: Tendências Internacionais e Perspectivas sobre a Inovação na Educação**. [S. l.]: Editora Blucher, 2018. 2025.
- RODRIGUES ALVES, T. *et al.* OpenPLC: An open source alternative to automation. In: 2014 IEEE GLOBAL HUMANITARIAN TECHNOLOGY CONFERENCE (GHTC), out. 2014. **Anais...** IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC 2014). San Jose, CA: IEEE, out. 2014. p. 585-589. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6970342/>. Acesso em: 23 abr. 2025.