



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

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6111

Autores: MARIA ALINE GONÇALVES, LEONILSON SEBASTIÃO VICENTE, ELIANE SILVA CUSTÓDIO, JULIANO DE MELLO PEDROSO

Resumo: Este trabalho apresenta os resultados de um projeto de iniciação científica remoto, no qual um estudante de Engenharia no interior de São Paulo, orientado on-line por docente em Curitiba, concebeu, programou e validou a partida estrela-triângulo de motor trifásico utilizando ESP32 e OpenPLC. Previsto inicialmente como protótipo, o projeto foi ampliado e testado em planta industrial, com apoio técnico da equipe de manutenção da empresa. A metodologia, fundamentada na Educação Aberta e nas DCNs, integrou teoria, prática e realidade local, priorizando a formação por competências. Desenvolveram-se habilidades como resolução de problemas, fluência em tecnologias abertas, experimentação, comunicação técnica e autonomia profissional. Os resultados confirmam a viabilidade de soluções de baixo custo com alto valor formativo e reforçam o potencial da pesquisa de graduação para promover inovação e aproximar universidade, indústria e território.

Palavras-chave: Iniciação Científica, Educação Aberta, Educação à Distância

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

1 INTRODUÇÃO

A formação de engenheiros no Brasil, conforme 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, ancorado nos princípios da Ciência Aberta e da Inovação Responsável (RRI) (Okada; Rodrigues, 2018).

Embora esse modelo tenha origem europeia, sua adoção 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 ressignificação 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: (1) confiança e aspiração científica; (2) participação divertida com professores, família e profissionais especialistas; (3) uso de metodologias ativas; (4) envolvimento em espaços formais e informais; e (5) valorização da ciência na vida cotidiana. O estudo 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*. Este último, por ser um *software* livre de código aberto desenvolvido por um brasileiro¹ (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, onde 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 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.

1.1 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; 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 através de conexão *Bluetooth* e *wifi*. Essas funcionalidades, permitem sua aplicação em diversas áreas do conhecimento, como automação, robótica, física, biotecnologia e educação ambiental (Bezerra; Schivani; 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

¹ OpenPLC é um software de controle lógico programável (CLP) de código aberto, criado pelo engenheiro brasileiro Thiago Alves enquanto cursava Engenharia Elétrica na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas). Trata-se do primeiro PLC de código aberto plenamente funcional no mundo, amplamente utilizado em contextos educacionais e industriais. Disponível em: <https://www.openplcproject.com>. Acesso em: 23 abr. 2025.

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 contadores 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.

2 ABORDAGEM METODOLÓGICA E EPISTEMOLÓGICA

Este trabalho insere-se em uma abordagem metodológica participativa, aberta e situada, inspirada nos princípios da Educação Aberta, conforme proposto por Okada e Rodrigues(2018). A proposta baseia-se 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).

2.1 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 planejamento entre orientadora e aluno foi delimitado 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
Contadores e Relés de Controle	Três contadores e relés de controle
Microcontrolador ESP32	Unidade de processamento principal, programado via software OpenPLC
Alimentação e Proteção	Conforme diagrama elétrico elaborado no software Cadsimu (ver Figura 2.a)

Fonte: Os 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, contadores, 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.

2.2 Avaliação e Validação da Iniciativa

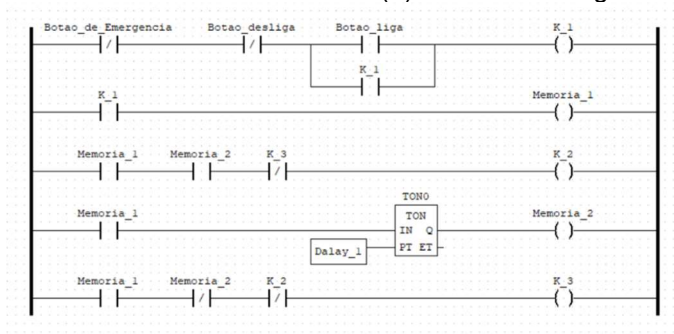
A avaliação foi baseada em três dimensões interconectadas: técnica, formativa e socioeducacional. A dimensão técnica ocorre através da validação do funcionamento do sistema implantado conforme especificações da empresa. A dimensão formativa abrange o acompanhamento do processo de aprendizagem do estudante 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).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto foi dividido em três camadas de desenvolvimento: projeto e lógica de controle em ladder, montagem do hardware e integração e validação. A lógica da partida estrela-triângulo foi programada em *Ladder* utilizando o software *OpenPLC Editor*, com programação em Linguagem *Ladder* conforme norma IEC 61131-3. O diagrama (Fig. 1a), contempla três contadores (K1: geral, K2: estrela, K3: triângulo), tempo de comutação controlado por TON (Timer On Delay), botões de emergência, liga e desliga, com variáveis booleanas nomeadas e estruturadas (ver Tabela de variáveis na Figura 1b).

A fase de integração e validação compreendeu a transferência da lógica de controle programada no *OpenPLC Editor* para o ESP32 por meio de conexão USB. Durante esse processo, o aluno identificou dificuldades iniciais relacionadas ao reconhecimento da placa pelo sistema, as quais foram solucionadas com o suporte da orientadora, mediante a instalação adequada do driver CP210x.

Figura 1 – Telas do projeto desenvolvido no OpenPLC. (a) Lógica de controle em Ladder. (b) Variáveis configuradas para o projeto.



(a)

Estrela_Triangulo					
Descrição: Estrela_Triangulo					
Class Filter: Todos					
#	Nome	Class	Type	Localização	Valor Inicial
1	Botao_liga	Local	BOOL	%X0.5	0
2	Botao_desliga	Local	BOOL	%X0.4	0
3	Botao_de_Emergenci	Local	BOOL	%X0.3	0
4	K_1	Local	BOOL	%QX0.4	0
5	K_2	Local	BOOL	%QX0.3	0
6	K_3	Local	BOOL	%QX0.5	0
7	Memoria_1	Local	BOOL		0
8	Memoria_2	Local	BOOL		0
9	Delay_1	Local	TIME		T#5s
10	TON0	Local	TON		

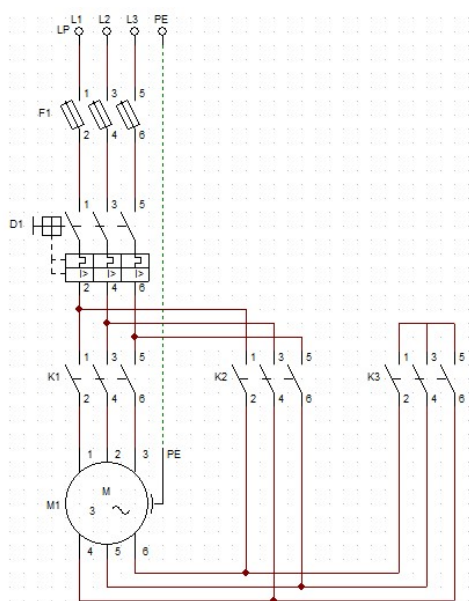
(b)

Fonte: Os Autores, 2025.

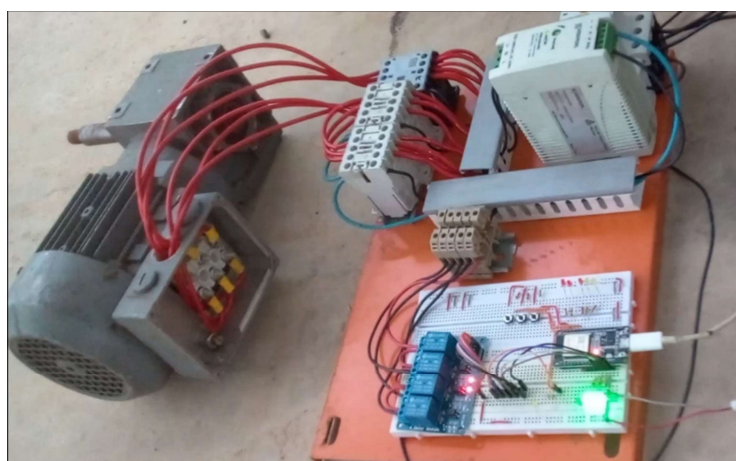
Os testes do sistema foram realizados em duas etapas: inicialmente, em protoboard, com LEDs simulando as saídas para os contatores, e posteriormente, em ambiente industrial real, conforme o projeto elétrico desenvolvido (Fig. 2a), com os contatores K1 (geral), K2 (estrela) e K3 (triângulo) acionando um motor trifásico (Fig. 2b). A proposta foi bem acolhida pela empresa, que atua no setor de implementos rodoviários, e os testes foram acompanhados pelo líder da equipe de manutenção elétrica, que ofereceu suporte técnico ao estudante. No início dos testes com os relés de 5 V (alimentados por fonte externa), observou-se um comportamento inesperado: ao energizar os módulos, os relés comutavam automaticamente seus contatos Normalmente Abertos (NA) para Fechados (NF), o que provocou o acionamento simultâneo dos contatores na energização.

Após testes de continuidade e análise do comportamento dos relés, verificou-se que a lógica de acionamento exigia ajustes: os comandos para as bobinas dos contatores foram realocados para os contatos Normalmente Fechados (NF) dos relés, que, ao serem energizados, se tornam NA, mantendo os contatores desligados até o recebimento do sinal do ESP32. Com essa correção, o sistema passou a operar conforme o esperado, com comutação adequada, intertravamento correto entre contatores e controle do tempo de transição entre os modos estrela e triângulo. O protótipo despertou o interesse da empresa, que iniciou processo de cotação do microcontrolador ESP32, considerando sua adoção futura como alternativa viável e econômica para o porte da planta.

Figura 2 – Integração e validação do projeto. (a) Diagrama de ligação. (b) Motor com contactores.



(a)



(b)

Fonte: Os Autores, 2025.

3.1 Alinhamento com Competências das DCNs e ENADE

A seguir, apresenta-se o Quadro 2 com as atividades realizadas pelo aluno e sua correspondência com competências previstas nas DCNs (Res. CNE/CES nº 2/2019) e nos referenciais do ENADE (Portarias INEP nº 282/2023 e nº 235/2014):

Quadro 2 – Atividades realizadas e correspondência com as competências previstas nas DCNs

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: Os Autores, 2025.

4 Conclusões

O projeto apresentado neste trabalho demonstra de forma concreta como a combinação entre tecnologias acessíveis, orientação pedagógica alinhada às DCNs e iniciativas de pesquisa com protagonismo discente pode gerar impactos significativos na formação de engenheiros. Inicialmente concebido como um experimento em ambiente simulado, o projeto foi ampliado de forma autônoma pelo estudante, que identificou a possibilidade de aplicação prática no contexto real de sua empresa, com apoio técnico de colegas especialistas.

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, aliados a uma lógica de controle tradicional (estrela-triângulo), mostrou-se eficaz tanto do ponto de vista técnico quanto 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. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad72c4>.

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. <https://doi.org/10.1002/cae.22674>.

KAIRUZ-CABRERA, D.; GARCIA-GARCIA, D.; QUIRÓS, A. B.; RAMOS, J. L.; LAGUARDIA, A. M. 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. DOI 10.5935/jetia.v9i42.878. Disponível em: <https://itegam-jetia.org/journal/index.php/jetia/article/view/878>. Acesso em: 29 abr. 2025.

MÁRQUEZ-VERA, M. A.; MARTÍNEZ-QUEZADA, M.; CALDERÓN-SUÁREZ, R.; RODRÍGUEZ, A.; ORTEGA-MENDOZA, R. M. Microcontrollers programming for control and automation in undergraduate biotechnology engineering education. **Digital Chemical Engineering**, [s. l.], v. 9, p. 100122, dez. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.dche.2023.100122>.

NASSIF, R. **José Martí**. [S. l.]: Editora Massangana, 2010(Coleção educadores).

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. <https://doi.org/10.1002/tea.21964>.

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. p. 41–54. DOI 10.5151/9788580393224-03. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-details/03-21128>. Acesso em: 16 abr. 2025.

RODRIGUES ALVES, T.; BURATTO, M.; DE SOUZA, F. M.; RODRIGUES, T. V. OpenPLC: An open source alternative to automation. In: 2014 IEEE GLOBAL HUMANITARIAN TECHNOLOGY CONFERENCE (GHTC), out. 2014. **IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC 2014)** [...]. San Jose, CA: IEEE, out. 2014. p. 585–589. DOI 10.1109/GHTC.2014.6970342. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6970342/>. Acesso em: 23 abr. 2025.

FROM PROTOTYPE TO INDUSTRY: REMOTE SCIENTIFIC INITIATION WITH ESP32 AND OPENPLC IN COMPETENCY-BASED ENGINEERING EDUCATION

Abstract: *This paper presents the results of a remotely conducted undergraduate research project in which an Engineering student from the countryside of 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 expanded and tested in an actual industrial setting, 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, with a focus on competency-based learning. Skills such as problem-solving, fluency in open technologies, hands-on experimentation, technical communication, and professional autonomy were developed throughout the process. The results confirm the feasibility of low-cost, high-impact educational solutions and reinforce the potential of undergraduate research to foster innovation and build stronger connections between university, industry, and territory.*

Keywords: Undergraduate Research, ESP32, OpenPLC, Open Education, Industrial Automation, Remote Supervision, Engineering Education.

