




C A P Í T U L O 4

ROBÓTICA EDUCACIONAL NO ENSINO SUPERIOR: DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE DIFERENTES PROPOSTAS DE PROTÓTIPOS DIDÁTICOS

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.939112621014>

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica CP/PG
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Cintya Wedderhoff Machado

Mestranda - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências
Humanas, Sociais e da Natureza (PPGEN-CP/LD)
Cornélio Procópio /Londrina– PR
<http://lattes.cnpq.br/4604594140489347>

Vitor Blanc Milani

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Mestrando - PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica CP/PG
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/4504374098250296>

Junior Candido Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Discente do curso de Engenharia de Controle e Automação
do Departamento de Engenharia Elétrica DAEE.
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9637563407033947>

Carina Zerbetto Segato Vendrameto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus
Cornélio Procópio/Londrina, Paraná – Brasil
Pós-doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Humanas,
Sociais e da Natureza – PPGEN – multicampi Cornélio Procópio e Londrina – PR
<https://lattes.cnpq.br/3593377513533551>

Francyani Rudek

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus
Cornélio Procópio/Londrina, Paraná – Brasil
Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Humanas,
Sociais e da Natureza – PPGEN – multicampi Cornélio Procópio e Londrina – PR
<http://lattes.cnpq.br/2510915296732886>

Renata Alcine Geremias

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus
Cornélio Procópio/Londrina, Paraná – Brasil
Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Humanas,
Sociais e da Natureza – PPGEN – multicampi Cornélio Procópio e Londrina – PR
<http://lattes.cnpq.br/9756691319260435>

Juliana Maria de Jesus Ribeiro

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus
Cornélio Procópio/Londrina, Paraná – Brasil
Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Ciências Humanas, Sociais e da Natureza – PPGEN
Londrina - PR
<http://lattes.cnpq.br/6279504657014354>

Tatiane Monteiro Pereira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Cornélio
Mestranda - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências
Humanas, Sociais e da Natureza (PPGEN-CP/LD)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9520601026438758>

Ana Clara Augusto Jesus

Acadêmica do curso de Pedagogia da Universidade Estadual do Norte
do Paraná (UENP) Campus de Cornélio Procópio - Paraná – Brasil
Cornélio Procópio – PR
<https://lattes.cnpq.br/5330914992553099>

Andressa Haiduk

Dimension Engenharia
Rio Negro - PR
<http://lattes.cnpq.br/2786786167224165>

Armando Paulo da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências
Humanas, Sociais e da Natureza (PPGEN-CP/LD)
Cornélio Procópio–PR
<http://lattes.cnpq.br/6724994186659242>

Eduardo Pegoraro Heinemann

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento
Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/0964474292409084>

Luiz Francisco Sanches Buzzacchero

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/1747856636744006>

Adriano da Silva Moreira

Afiliação acadêmica: Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Educação – PPEDU
Instituição: Universidade Estadual de Londrina (UEL) –
Campus Londrina – PR
<https://lattes.cnpq.br/0686904669527189>

Paulo Alexandre Lourenço Jesus

Afiliação acadêmica: Aluno externo no Programa de Pós-Graduação em Ensino
de Ciências Humanas, Sociais e da Natureza – PPGEN – Curso de Mestrado
Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR) – Campus Cornélio Procópio/Londrina – PR
<https://lattes.cnpq.br/1346404833044235>

Vera Adriana Huang Azevedo Hypólito

Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Etec Jacinto Ferreira de Sá
Ourinhos – SP
<http://lattes.cnpq.br/6169590836932698>

Ricardo Breganon

Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho
Jacarezinho - PR
<http://lattes.cnpq.br/2441043775335349>

Daniela Mendonça de Oliveira

Discente Mestrado Externo- Programa de Pós-Graduação em Ensino
de Ciências Humanas, Sociais e da Natureza (PPGEN-CP/LD)
Cornélio Procópio-PR
<http://lattes.cnpq.br/7537622609222737>

Aline Fernandes Alvarenga Meyer de Lima

Mestra e Professora Ed Física - Prefeitura Municipal de Ibioporã
Ibioporã-PR
<http://lattes.cnpq.br/9918376213823198>

Adriele Muniz

Afiliação acadêmica: aluna externa no Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Ciências Humanas, Sociais e da Natureza – PPGEN
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus
Cornélio Procópio/Londrina, Paraná – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6059998214513158>

RESUMO: A robótica educacional tem se consolidado como estratégia pedagógica para o fortalecimento do ensino prático em cursos de engenharia e computação, especialmente em contextos que demandam integração entre programação, eletrônica controle e sistemas embarcados. Este artigo apresenta o desenvolvimento e a análise de protótipos didáticos de baixo custo aplicados à disciplina de Robótica Computacional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio. A proposta fundamenta-se na experimentação com plataformas abertas, modulares e replicáveis, visando ampliar a articulação entre teoria e prática,

favorecer o engajamento discente e contribuir para a consolidação de competências técnicas e investigativas. A metodologia compreendeu levantamento bibliográfico, definição de requisitos didático-técnicos, seleção de componentes, montagem dos protótipos, realização de testes funcionais e produção de documentação de apoio. A análise considerou critérios como custo, robustez, reproduzibilidade, facilidade de manutenção, adequação pedagógica e potencial de aplicação em atividades laboratoriais. Como principal contribuição, o estudo organiza uma proposta didática baseada em um robô seguidor de linha de baixo custo, discute seu comportamento experimental em pista e compara sua complexidade estrutural e computacional com uma solução baseada em microcontrolador. No caso do microcontrolador poderia ser incluída uma função de chaveamento de controle teleguiado em situação de risco emergente, como por exemplo, robô autônomos voltados para agricultura. Os resultados indicam que, mesmo em arquiteturas simples, há potencial formativo para o ensino de sensoriamento, controle reativo e integração entre hardware e software.

PALAVRAS-CHAVE: robótica educacional; prototipagem didática; ensino superior; sistemas embarcados; robótica computacional; plataformas de baixo custo.

EDUCATIONAL ROBOTICS IN HIGHER EDUCATION: DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF DIDACTIC PROTOTYPES

ABSTRACT: Educational robotics has become established as a pedagogical strategy for strengthening practical teaching in engineering and computer science courses, especially in contexts that demand integration between programming, electronics, control, and embedded systems. This article presents the development and analysis of low-cost didactic prototypes applied to the Computational Robotics course at the Federal Technological University of Paraná, Cornélio Procópio Campus. The proposal is based on experimentation with open, modular, and replicable platforms, aiming to broaden the articulation between theory and practice, promote student engagement, and contribute to the consolidation of technical and investigative skills. The methodology included a literature review, definition of didactic-technical requirements, component selection, prototype assembly, functional testing, and production of supporting documentation. The analysis considered criteria such as cost, robustness, reproducibility, ease of maintenance, pedagogical suitability, and potential for application in laboratory activities. As a main contribution, this study organizes a didactic proposal based on a low-cost line-following robot, discusses its experimental behaviour on a track, and compares its structural and computational complexity with a microcontroller-based solution. In the case of the microcontroller, a remote-controlled switching function could be included in emergent risk situations, such as autonomous robots for agriculture. The results indicate that, even in simple architectures, there is formative potential for teaching sensing, reactive control, and hardware-software integration.

KEYWORDS: educational robotics; didactic prototyping; higher education; embedded systems; computational robotics; low-cost platforms.

INTRODUÇÃO

A robótica computacional constitui um campo interdisciplinar que integra programação, eletrônica, automação, controle e sistemas inteligentes, assumindo papel relevante em cursos de engenharia e computação. No ensino superior, a consolidação desses conhecimentos depende de experiências práticas que possibilitem ao estudante observar, testar e validar conceitos em contextos reais ou simulados. Nesse sentido, a robótica educacional configura-se como abordagem capaz de aproximar abstrações conceituais de experiências concretas de aprendizagem, favorecendo a participação discente, a resolução de problemas e a compreensão integrada dos conteúdos.

Estudos recentes indicam que a adoção da robótica no ensino superior pode ampliar a motivação, o engajamento acadêmico e a aprendizagem ativa, especialmente quando os dispositivos são incorporados a atividades de projeto e experimentação (PHOKOYE et al., 2024; ZAMORA et al., 2025). Revisões mais amplas apontam que o valor pedagógico desses recursos não depende apenas do artefato tecnológico, mas também da forma como os estudantes se relacionam com ele, seja como objeto de estudo, ferramenta de aprendizagem ou elemento interativo (XU; OUYANG, 2025).

No contexto do ensino superior, a utilização de protótipos didáticos apresenta-se como estratégia relevante para a integração entre conteúdos de maior complexidade, tais como sistemas embarcados, controle e programação. No entanto, apesar dos avanços na área, ainda se observam lacunas na sistematização de soluções de baixo custo que articulem, de forma estruturada, aspectos técnicos e pedagógicos em ambientes de ensino-aprendizagem. Essa limitação pode restringir tanto o acesso quanto a replicabilidade de práticas experimentais em diferentes contextos institucionais.

Diante desse cenário, este estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: como protótipos didáticos de baixo custo podem contribuir para o ensino de robótica computacional no ensino superior, especialmente na integração entre teoria e prática?

Assim, o objetivo deste artigo é desenvolver e analisar protótipos didáticos de baixo custo aplicados à disciplina de Robótica Computacional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procopio, com ênfase na articulação entre teoria e prática, no engajamento discente e no desenvolvimento de competências técnicas e investigativas. A proposta fundamenta-se na utilização de plataformas abertas, modulares e replicáveis, visando ampliar as possibilidades de experimentação em contextos educacionais.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica e os trabalhos relacionados; a Seção 3 descreve os objetivos da pesquisa; a Seção 4 apresenta a metodologia adotada; a Seção 5 discute os resultados obtidos; e, por fim, a Seção 6 apresenta as considerações finais. Este estudo contribui para a área ao propor uma abordagem didática baseada em prototipagem progressiva, articulando arquiteturas analógicas e programáveis no ensino de robótica.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Robótica educacional no ensino superior

A robótica educacional tem sido incorporada ao ensino superior como estratégia para potencializar práticas pedagógicas centradas na aprendizagem ativa, na resolução de problemas e na integração entre teoria e prática. Em cursos das áreas de engenharia e computação, sua utilização favorece a compreensão de conceitos complexos por meio da experimentação, permitindo que os estudantes estabeleçam relações entre abstrações teóricas e aplicações concretas.

Estudos recentes indicam que a adoção da robótica em contextos acadêmicos está associada ao aumento do engajamento discente e à melhoria no desempenho em atividades práticas, especialmente quando vinculada a propostas baseadas em projetos e experimentação (PHOKOYE et al., 2024; ZAMORA et al., 2025). No entanto, tais benefícios dependem de fatores como infraestrutura disponível, formação docente e adequação curricular, o que evidencia a necessidade de abordagens pedagógicas estruturadas e contextualizadas.

Pensamento computacional e robótica

A relação entre robótica educacional e pensamento computacional constitui um dos principais eixos de investigação contemporânea na área. O pensamento computacional envolve habilidades como decomposição de problemas, reconhecimento de padrões, abstração e elaboração de algoritmos, sendo considerado fundamental para a formação em contextos tecnológicos e científicos.

Nesse sentido, a robótica configura-se como ambiente propício para o desenvolvimento dessas competências, uma vez que permite a materialização de processos abstratos em sistemas físicos interativos. Em estudo baseado em atividades colaborativas e reflexão entre pares, Korte, Korkko e Reichelt Foreland (2025) demonstraram que o uso de robôs educacionais e ferramentas de programação

contribuiu significativamente para o desenvolvimento do pensamento computacional no ensino superior, desde que associado a estratégias pedagógicas intencionais.

Além disso, Xu e Ouyang (2025) propõem uma abordagem conceitual que categoriza a robótica educacional em diferentes papéis no processo de aprendizagem: aprender sobre, por meio de, a partir de e com robótica. Essa perspectiva amplia a compreensão sobre o uso pedagógico desses recursos, destacando que os resultados educacionais dependem da forma como o estudante interage com o artefato tecnológico.

Plataformas abertas e prototipagem de baixo custo

A utilização de plataformas abertas, modulares e de baixo custo tem se consolidado como alternativa viável para a ampliação do acesso à robótica educacional no ensino superior. Tais soluções favorecem a replicabilidade, a manutenção e a adaptação dos sistemas em diferentes contextos educacionais, contribuindo para a democratização do uso de tecnologias em atividades práticas.

Nesse contexto, estudos recentes destacam que protótipos didáticos baseados em arquiteturas simplificadas podem oferecer significativo valor pedagógico, mesmo quando comparados a sistemas mais complexos (MINAYA et al., 2026). Além disso, plataformas abertas permitem maior transparência no funcionamento dos sistemas, possibilitando ao estudante compreender de forma mais direta as relações entre sensores, atuadores e lógica de controle.

A literatura também evidencia que o uso de soluções de baixo custo não implica, necessariamente, perda de qualidade didática, mas pode, ao contrário, favorecer abordagens mais investigativas, nas quais o estudante participa ativamente do processo de construção, teste e análise dos sistemas.

Estudos recentes destacam o potencial de plataformas abertas e modulares para o desenvolvimento de soluções didáticas em robótica educacional, ampliando a acessibilidade e a replicabilidade dos protótipos (BALBUENA et al., 2026).

Tecnologias digitais e intencionalidade pedagógica

A incorporação de tecnologias digitais na educação requer uma abordagem que vá além do uso instrumental dos recursos, considerando aspectos pedagógicos, éticos e sociais. Nesse sentido, documentos internacionais destacam a importância de uma perspectiva humanocêntrica, que valorize o desenvolvimento integral do estudante e a utilização consciente das tecnologias no processo educativo.

De acordo com a UNESCO (2025a; 2025b), o uso de tecnologias emergentes, como inteligência artificial e robótica, deve estar alinhado a princípios de inclusão, equidade e intencionalidade pedagógica, evitando práticas centradas exclusivamente na dimensão técnica. Essa orientação reforça a necessidade de que a robótica educacional seja integrada a propostas didáticas estruturadas, que promovam não apenas o desenvolvimento de habilidades técnicas, mas também competências críticas e reflexivas.

No contexto brasileiro, a Resolução CNE/CEB nº 1/2022, que complementa a Base Nacional Comum Curricular no campo da computação, destaca a relevância do pensamento computacional e da criação de soluções tecnológicas como competências essenciais para a formação dos estudantes, evidenciando a necessidade de práticas pedagógicas que articulem tecnologia e aprendizagem de forma significativa (BRASIL, 2022).

OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo geral desenvolver e analisar protótipos didáticos de baixo custo para aplicação no ensino de Robótica Computacional no contexto do ensino superior, com ênfase na articulação entre teoria e prática, no engajamento discente e no desenvolvimento de competências técnicas e investigativas.

Como objetivos específicos, o estudo busca:

- a) realizar levantamento bibliográfico sobre robótica educacional, prototipagem didática e sistemas embarcados, com foco em aplicações no ensino superior;
- b) definir critérios técnico-pedagógicos para a seleção de componentes e arquiteturas compatíveis com propostas de baixo custo e uso didático;
- c) desenvolver e montar protótipos didáticos com potencial de aplicação em atividades laboratoriais, considerando aspectos de simplicidade, reprodutibilidade e funcionalidade;
- d) avaliar o desempenho funcional dos protótipos, bem como sua adequação pedagógica em contextos de ensino-aprendizagem;
- e) comparar a complexidade estrutural e computacional entre uma arquitetura analógica de seguimento de linha e uma solução baseada em microcontrolador;
- f) sistematizar diretrizes técnicas e pedagógicas que favoreçam a replicação e adaptação dos protótipos em contextos acadêmicos.

METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa, orientada ao desenvolvimento e à avaliação de protótipos didáticos no contexto do ensino de Robótica Computacional no ensino superior.

Inicialmente, realizou-se levantamento bibliográfico em bases científicas e documentos institucionais, com ênfase em robótica educacional, plataformas abertas, ensino experimental e pensamento computacional, o que possibilitou a identificação de requisitos técnicos e pedagógicos para a definição da arquitetura de prototipagem.

Na etapa seguinte, foram adotados critérios para seleção de hardware e software, tais como custo de aquisição, disponibilidade de componentes, robustez mecânica, facilidade de manutenção, modularidade, clareza da documentação e aderência às demandas da disciplina. Priorizou-se uma solução simples, replicável e adequada ao ensino introdutório de sensores, atuadores e controle reativo, em consonância com a literatura sobre plataformas abertas e de baixo custo (PHOKOYE et al., 2024; MINAYA et al., 2026).

O desenvolvimento dos protótipos envolveu a montagem de um robô seguidor de linha com arquitetura analógica, baseado em sensores ópticos, circuito comparador e acionamento direto dos motores. Essa configuração foi selecionada por sua simplicidade estrutural e potencial didático para o ensino de conceitos relacionados ao sensoriamento, à tomada de decisão por limiares e ao controle reativo.

Para a análise experimental, adotou-se como estudo de caso o referido protótipo em pista didática previamente definida, composta por trajetórias retilíneas e curvas, permitindo a observação do comportamento do sistema em diferentes condições operacionais. Durante os testes, foram considerados aspectos como estabilidade do movimento, capacidade de seguimento de trajetória e respostas a desvios.

Foram utilizados registros visuais do protótipo em diferentes instantes de operação, bem como a elaboração de um diagrama de blocos representativo do sistema e um gráfico de frequência associado a estados operacionais recorrentes observados durante os testes.

A coleta de dados ocorreu por meio de observação sistemática, sendo posteriormente organizada para análise.

A interpretação do gráfico foi conduzida com cautela, considerando a ausência de identificação explícita no eixo horizontal no material original; assim, a análise concentrou-se nos agrupamentos de frequência e em sua relevância didática para a compreensão do comportamento do sistema.

Por fim, realizou-se uma análise comparativa entre a arquitetura analógica e uma arquitetura baseada em microcontrolador (Arduino), considerando aspectos de hardware, software, estratégias de controle, flexibilidade, custo computacional

por ciclo e potencial didático. Essa comparação foi desenvolvida em nível conceitual, com base no funcionamento dos sistemas e na literatura recente sobre robótica educacional e prototipagem aberta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise do comportamento do protótipo

A Figura 1 apresenta o protótipo de robô seguidor de linha em pista didática, em diferentes instantes de operação. As imagens evidenciam a capacidade do sistema de percorrer a trajetória proposta, contemplando trechos retilíneos e curvos.

Do ponto de vista funcional, observa-se que o sistema mantém comportamento estável ao longo do percurso, com respostas coerentes aos estímulos provenientes dos sensores ópticos.

Sob a perspectiva pedagógica, o registro visual possibilita a compreensão da relação entre sensoriamento, tomada de decisão e ação motora, favorecendo a articulação entre conceitos teóricos e sua aplicação prática em ambiente experimental.

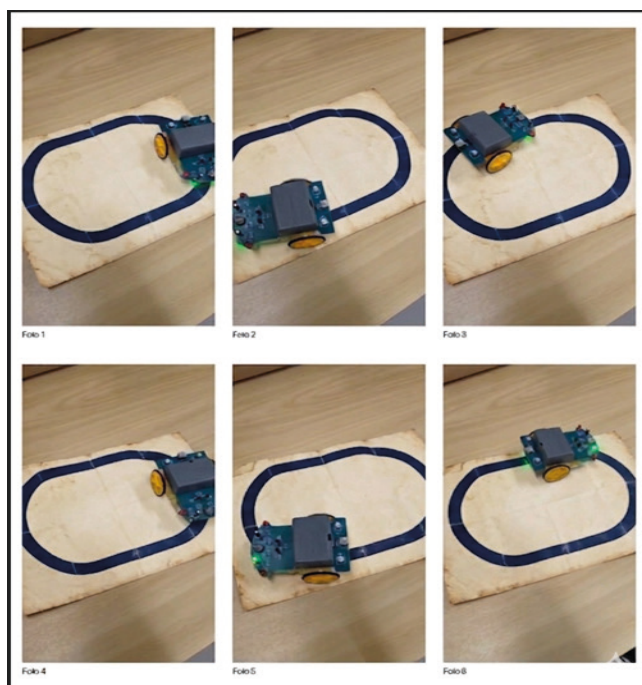


Figura 1 – Protótipo de robô seguidor de linha em pista didática durante diferentes instantes de operação.

Fonte: Acervo dos autores.

Estrutura e funcionamento do sistema

A **Figura 2** apresenta o diagrama de blocos representativo do sistema desenvolvido. Nessa arquitetura, os sensores ópticos realizam a detecção da linha, enquanto o circuito comparador interpreta os sinais com base em limiares previamente definidos, acionando diretamente os motores.

Essa organização evidencia uma lógica de controle reativo, na qual as decisões são tomadas a partir de condições locais, sem a necessidade de processamento computacional complexo. Do ponto de vista didático, essa característica contribui para a transparência do funcionamento do sistema, permitindo que os estudantes compreendam de forma direta a relação entre entrada sensorial, processamento e resposta motora.

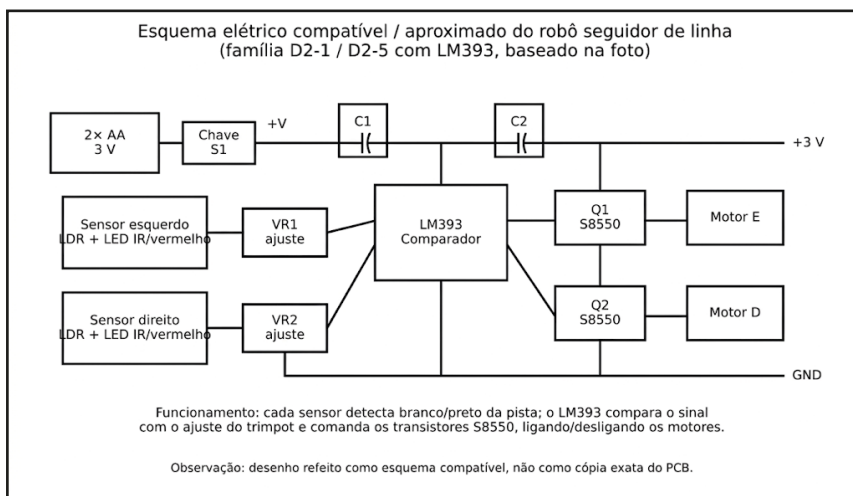


Figura 2 – Diagrama de blocos do robô seguidor de linha.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base no protótipo analisado.

Análise dos dados experimentais

A **Figura 3** apresenta o gráfico de frequência associado aos estados operacionais do protótipo durante os testes. Considerando a ausência de identificação explícita do eixo horizontal no material original, a análise assume caráter interpretativo, priorizando a distribuição dos dados e os agrupamentos de frequência observados.

Verifica-se a presença de um comportamento multimodal, com um pico dominante em aproximadamente 160 ocorrências, além de agrupamentos secundários em torno de 81 e 41 ocorrências, e um agrupamento adicional próximo de 51 ocorrências.

O pico dominante indica que o sistema opera predominantemente em regime estável de seguimento da trajetória. Os agrupamentos secundários podem ser associados a estados de correção, como ajustes em curvas ou compensações decorrentes de pequenas variações no alinhamento. O agrupamento menos frequente sugere a ocorrência de estados atípicos, possivelmente relacionados a respostas mais abruptas do sistema.

Esse comportamento evidencia que, embora o sistema apresente funcionamento consistente, sua lógica de controle é baseada em transições entre estados discretos, característica típica de arquiteturas reativas fundamentadas em limiares.

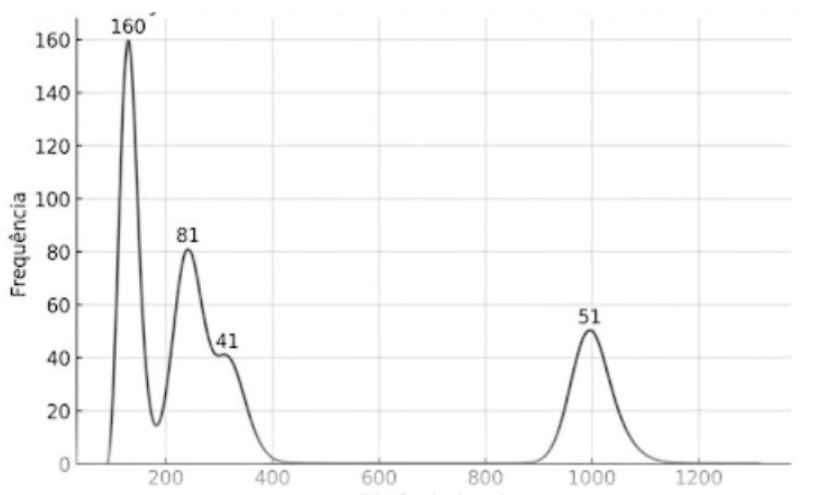


Figura 3 – Distribuição de frequência associada a estados operacionais do protótipo.

Fonte: Acervo dos autores.

Comparação entre arquiteturas

A comparação entre o robô seguidor de linha analógico e a arquitetura baseada em microcontrolador evidencia diferenças relevantes em termos de estrutura, lógica de controle e potencial didático, conforme apresentado na **Tabela 1**.

Embora ambas as soluções apresentem custo computacional aproximadamente constante por ciclo, a arquitetura baseada em microcontrolador incorpora maior flexibilidade, permitindo a implementação de estratégias de controle mais sofisticadas. Em contrapartida, a arquitetura analógica apresenta maior simplicidade e transparência, sendo especialmente adequada para atividades introdutórias.

Aspecto	Arquitetura analógica	Arquitetura com Arduino
Elementos centrais	Sensores, comparador, transistores e motores.	Sensores, microcontrolador, driver de motor e motores.
Lógica de controle	Reativa, baseada em limiares e respostas discretas.	Programável, com possibilidade de controle proporcional, PID ou regras adaptativas.
Software	Inexistente ou praticamente nulo.	Necessário para leitura, decisão, ajuste e acionamento.
Calibração	Predominantemente manual, por trimpots.	Pode ser feita por código, calibração assistida ou rotinas automáticas.
Custo computacional por ciclo	Muito baixo; decisão eletrônica direta.	Baixo, porém maior que o analógico, devido à leitura, ao processamento e ao PWM.
Complexidade assintótica por ciclo	Aproximadamente $O(1)$, com poucos estados.	Também aproximadamente $O(1)$, porém com maior fator constante.
Flexibilidade didática e custo/manutenção	Alta para introdução a sensores e controle reativo; custo e manutenção geralmente menores.	Alta para ensino de programação, controle e sistemas embarcados; maior expansibilidade, porém custo e manutenção tendem a ser maiores.

Tabela 1 - Comparação entre o robô seguidor de linha analógico e uma solução baseada em Arduino.

Fonte: elaborado pelos autores.

A comparação sintetizada na **Tabela 1** indica que a principal diferença entre as duas abordagens não reside na classe assintótica da tomada de decisão, mas no fator constante e no grau de flexibilidade do sistema. Em termos práticos, ambos os robôs operam com tempo aproximadamente constante por iteração, uma vez que realizam a leitura de um número fixo de sensores e produzem respostas locais.

No entanto, a arquitetura baseada em Arduino incorpora camadas adicionais de processamento, armazenamento e modulação de sinais, o que eleva a complexidade estrutural, ao mesmo tempo em que amplia significativamente as possibilidades de calibração, refinamento de controle e expansão funcional.

Implicações pedagógicas

Do ponto de vista pedagógico, essa distinção é relevante. Em atividades introdutórias, a arquitetura analógica apresenta vantagens relacionadas à simplicidade, ao baixo custo e à transparência de funcionamento, permitindo que o estudante compreenda de forma direta a relação entre sensores, comparação de sinais e acionamento de motores.

Por outro lado, em contextos que demandam maior sofisticação, a utilização de microcontroladores mostra-se mais adequada, ao possibilitar a exploração de programação embarcada, aquisição de dados, estratégias de controle e comunicação entre dispositivos.

Dessa forma, as duas abordagens devem ser compreendidas como complementares em uma trajetória formativa progressiva, em consonância com a literatura recente sobre robótica educacional e plataformas abertas no ensino superior (PHOKOYE et al., 2024; MINAYA et al., 2026).

Como extensão do sistema, a incorporação de funcionalidades adicionais, como controle teleguiado e detecção de obstáculos, amplia o escopo de aplicação do robô seguidor de linha.

A integração entre sensores de linha, sensores ultrassônicos e comunicação via IoT possibilita que o sistema siga trajetórias predefinidas e realize desvio de obstáculos de forma eficiente.

O uso de aplicativos, como o Blynk, permite o envio de comandos manuais em tempo real, enquanto os sensores ajustam automaticamente a trajetória conforme as condições do ambiente. Essa integração resulta em um sistema mais adaptável, com maior precisão e segurança na navegação.

Integração com pensamento computacional

A **Figura 4** ilustra uma lógica de funcionamento mais abrangente, cuja implementação torna-se mais viável com o uso de microcontroladores, especialmente quando há integração de componentes complementares e expansão de funcionalidades.

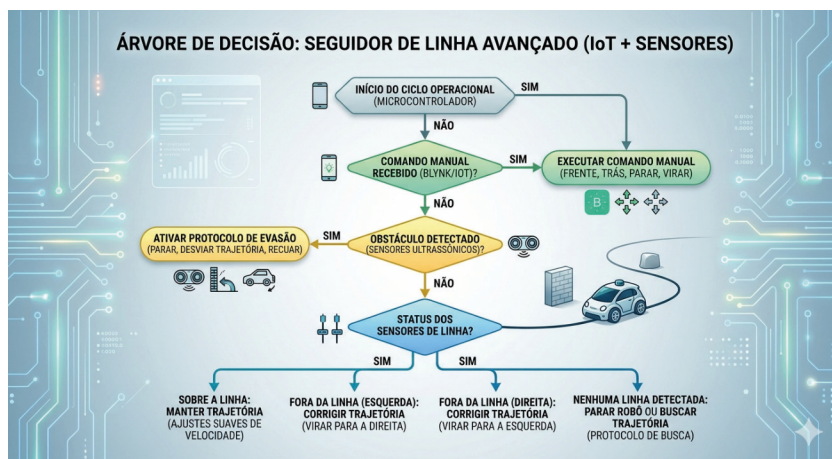


Figura 4 – Árvore de decisão do robô seguidor de linha com IoT e sensores.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir da lógica apresentada na **Figura 4**, é possível desenvolver o pensamento computacional com base na árvore de decisão do robô seguidor de linha. Para isso, o funcionamento do sistema pode ser organizado em quatro pilares fundamentais: Decomposição, Reconhecimento de Padrões, Abstração e Algoritmo.

1. Decomposição (Dividir para conquistar)

A decomposição consiste em quebrar o problema complexo (“fazer um robô navegar de forma autônoma e remota”) em tarefas menores e mais fáceis de gerenciar. Para este robô, o sistema foi dividido em três módulos principais:

Módulo de Comunicação (IoT): responsável por verificar se há comandos do aplicativo Blynk;

Módulo de Segurança (Ultrassônico): responsável por monitorar o ambiente à frente e evitar colisões;

Módulo de Navegação (Sensores de Linha): responsável por manter o robô na rota correta.

2. Reconhecimento de padrões

Trata-se de identificar repetições ou regras lógicas nos dados dos sensores para tomar decisões previsíveis:

Padrão de Comando: se chega um sinal via Wi-Fi/Bluetooth, o robô entende que a autonomia deve ser pausada temporariamente para obedecer ao humano;

Padrão de Risco: uma leitura do sensor ultrassônico abaixo de “X” centímetros indica perigo iminente, sendo a resposta padrão parar e desviar;

Padrões de Rota: Sensor esquerdo fora da linha e sensor direito na linha indica que o robô está saindo pela esquerda (padrão: virar à direita); Ambos os sensores na linha indicam trajetória correta (padrão: seguir reto).

3. Abstração

A abstração foca no que é importante e ignora os detalhes complexos de hardware ou física: Não é necessário compreender como as ondas sonoras do sensor ultrassônico se propagam, apenas considerar a informação essencial: “Existe um obstáculo a menos de 10 cm? (Verdadeiro ou Falso)”;

Não é necessário compreender o protocolo TCP/IP, apenas o estado da variável de controle do Blynk: “O botão ‘Frente’ foi pressionado? (Sim ou Não)”;

O foco está na lógica de decisão.

4. Algoritmo (lógica de execução)

O último pilar consiste na definição do passo a passo lógico. Com base na árvore de decisão gerada, o algoritmo (em formato de pseudocódigo) estruturado pelo microcontrolador (como Arduino ou ESP32) pode ser descrito da seguinte forma:

```
INÍCIO DO LOOP (loop principal):

// 1. Prioridade máxima: controle manual

SE (Comando_Blynk_Recebido == VERDADEIRO) ENTÃO
    Executar_Comando_Manual()
    RETORNAR AO INÍCIO DO LOOP
FIM SE

// 2. Prioridade secundária: segurança
Ler_Sensor_Ultrassonico()

SE (Distancia_Obstaculo < Distancia_Segura) ENTÃO
    Ativar_Protocolo_Evasao (Parar, Recuar, Desviar)
    RETORNAR AO INÍCIO DO LOOP
FIM SE

// 3. Ação padrão: seguir a linha
Ler_Sensores_de_Linha()

SE (Estado == "Sobre a Linha") ENTÃO
    Mover_Frente()

SENÃO SE (Estado == "Fora da Linha pela Esquerda") ENTÃO
    Virar_Direita()

SENÃO SE (Estado == "Fora da Linha pela Direita") ENTÃO
    Virar_Esquerda()

SENÃO SE (Estado == "Nenhuma Linha Detectada") ENTÃO
    Parar_Robo_Ou_Iniciar_Busca()
FIM SE

FIM DO LOOP
```

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidenciou que o desenvolvimento e a análise de protótipos didáticos de baixo custo constituem uma estratégia relevante para o fortalecimento do ensino de Robótica Computacional no ensino superior. A partir da implementação de um robô seguidor de linha com arquitetura analógica, verificou-se que soluções estruturais simples podem oferecer subsídios significativos para a compreensão de conceitos fundamentais, como sensoriamento, controle reativo e integração entre hardware e software.

Os resultados indicaram que, mesmo em arquiteturas de baixa complexidade, é possível promover experiências de aprendizagem consistentes, especialmente quando associadas a práticas experimentais e à observação sistemática do comportamento do sistema. A utilização de registros visuais, diagramas e análise de dados contribuiu para ampliar a compreensão dos fenômenos envolvidos, favorecendo a articulação entre teoria e prática.

A análise comparativa entre a arquitetura analógica e a solução baseada em microcontrolador evidenciou que o aumento da complexidade estrutural amplia as possibilidades didáticas, sobretudo no que se refere à implementação de estratégias de controle, à programação embarcada e à expansão funcional dos sistemas. Nesse sentido, as duas abordagens devem ser compreendidas como complementares, compondo uma trajetória formativa progressiva no ensino de robótica.

Do ponto de vista pedagógico, o estudo reforça o potencial da robótica educacional como ferramenta para o desenvolvimento do pensamento computacional, ao possibilitar a aplicação de conceitos como decomposição, reconhecimento de padrões, abstração e algoritmos em contextos concretos de aprendizagem.

Como limitações da pesquisa, destaca-se a ausência de identificação explícita de variáveis no gráfico experimental, o que demandou uma análise interpretativa dos dados. Além disso, a investigação concentrou-se em um estudo de caso específico, o que pode restringir a generalização dos resultados.

Como perspectivas futuras, recomenda-se o aprimoramento da instrumentação do protótipo, com a definição mais precisa das variáveis experimentais, bem como a incorporação de métricas adicionais de desempenho. Sugere-se, ainda, o desenvolvimento de trilhas pedagógicas progressivas que integrem arquiteturas analógicas e programáveis, ampliando as possibilidades de aplicação da robótica educacional em diferentes níveis de ensino.

REFERÊNCIAS

BALBUENA, J. et al. PlatROB: an open-source, modular, and low-cost educational robotics platform. *HardwareX*, v. 25, 2026. Disponível em: [https://www.hardware-x.com/article/S2468-0672\(26\)00007-6/fulltext](https://www.hardware-x.com/article/S2468-0672(26)00007-6/fulltext) Acesso em: 9 abr. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CEB nº 1, de 4 de outubro de 2022. Normas sobre Computação na Educação Básica: complemento à BNCC. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 6 out. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-1-de-4-de-outubro-de-2022-434325065> Acesso em: 9 abr. 2026.

KORTE, Satu-Maarit; KORKKO, Minna; REICHELTL FORELAND, Line. Developing computational thinking skills in higher education through peer reflection on robotics and programming exercises with Bee-Bots, Lego Mindstorms EV3 and Minecraft Education. *Learning, Culture and Social Interaction*, v. 55, 100947, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2025.100947>

MINAYA, Donovan A. Porras; ZAMBRANO, Alejandro J. Arocutipá; CHURA, Joel A.; HUARCA, Jorge L. Design and implementation of a low-cost mobile robot prototype for trajectory tracking and robotic swarm tasks in research and educational applications. *HardwareX*, v. 25, e00746, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2026.e00746>

PHOKOYE, Samkelisiwe Purity et al. Exploring the adoption of robotics in teaching and learning in higher education institutions. *Informatics*, v. 11, n. 4, art. 91, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/informatics11040091>

UNESCO. Artificial intelligence in education. Paris: UNESCO, 2025a. Disponível em: <https://www.unesco.org/en/digital-education/artificial-intelligence> Acesso em: 9 abr. 2026.

UNESCO. Beyond the loop: reclaiming pedagogy in an AI age. Paris: UNESCO, 2025b. Disponível em: <https://www.unesco.org/en/articles/beyond-loop-reclaiming-pedagogy-ai-age> Acesso em: 9 abr. 2026.

XU, Weiqi; OUYANG, Fan. Robotic roles in education: a systematic review based on a proposed framework of the learner-robot relationships. *Educational Research Review*, v. 47, 100685, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2025.100685>

ZAMORA, P. et al. Robotics in higher education and its impact on digital learning. *Frontiers in Computer Science*, v. 7, 1607766, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcomp.2025.1607766>