

BEMO: Base Educacional Modular Open-Source de Baixo Custo para Educação STEAM

Maurício Santos Passoni
m.passoni@gsuite.iff.edu.br
Instituto Federal Fluminense
Bom Jesus do Itabapoana, Rio de Janeiro, BRA

Ianne Lima Nogueira
ianne.nogueira@iff.edu.br
Instituto Federal Fluminense
Bom Jesus do Itabapoana, Rio de Janeiro, BRA

Bruno Alves Pesse Libardi
brunoaplibardi@gmail.com
Instituto Federal Fluminense
Bom Jesus do Itabapoana, Rio de Janeiro, BRA

Anderson De Souza Lima
anderson.lima@iff.edu.br
Instituto Federal Fluminense
Bom Jesus do Itabapoana, Rio de Janeiro, BRA

Abstract

In contemporary digital education, schools face increasing challenges in providing accessible technological learning environments that foster creativity and computational thinking. This paper presents BEMO, an open-source, modular, and low-cost educational robot designed to support robotics and STEAM education in basic education contexts. The proposed platform integrates 3D printing, Arduino-based hardware, and plug-and-play assembly to reduce technical barriers for beginners. Block-based programming enables accessible entry into programming while supporting progression to textual coding. Technical evaluations demonstrated stable operation and adequate energy autonomy, while a preliminary educational assessment with students indicated high acceptance, ease of use, and improved understanding of computational and electromechanical concepts. The findings suggest that BEMO constitutes a viable and replicable alternative for democratizing access to educational robotics, particularly in public-school environments.

CCS Concepts

- **Applied computing** → **Education**; Block-based programming;
- **Computer systems organization** → *Robotics*.

Keywords

Educational robotics, STEAM, Arduino, Block-based programming, 3D printing, Basic education.

1 Introdução

O desenvolvimento de habilidades cognitivas, socioemocionais e técnico-científicas tornou-se central para a formação de estudantes capazes de atuar em uma sociedade digital, dinâmica e orientada pela inovação [18]. De acordo com [17], ambientes de aprendizagem que incentivam a exploração, a experimentação e a construção ativa do conhecimento promovem a autonomia intelectual e fortalecem a capacidade de resolver problemas complexos, competências essenciais para o século XXI. Nesse cenário, a Robótica Educacional constitui uma estratégia pedagógica alinhada ao Construcionismo de [15], ao possibilitar que os estudantes aprendam criando artefatos significativos, conectando teoria e prática e construindo conhecimento tecnológico e científico por meio da ação.

A integração entre Robótica Educacional e a abordagem STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) configura uma estratégia eficaz para o desenvolvimento de competências interdisciplinares e habilidades de alto nível, favorecendo a criatividade, a experimentação e a resolução de problemas. Evidências empíricas demonstram que a associação entre a Robótica Educacional e projetos investigativos sob a perspectiva STEAM promove aprendizagens ativas, ampliando a autonomia, a colaboração e a capacidade de solucionar desafios reais [10]. Como apontam [2], experiências educacionais fundamentadas em STEAM contribuem significativamente para o aumento da criatividade científica e do engajamento dos estudantes, estimulando o pensamento crítico e a colaboração.

Nesse contexto, o Pensamento Computacional, amplamente discutido por [19], emerge como uma competência essencial para compreender, modelar e solucionar problemas complexos por meio de processos lógicos e sistemáticos. A Base Nacional Comum Curricular [6] reforça essa perspectiva ao reconhecer o Pensamento Computacional como habilidade fundamental para a formação integral dos estudantes e sua atuação crítica e criativa no mundo digital. Em consonância, [16] destaca que a Robótica Pedagógica potencializa o ensino interdisciplinar e a aprendizagem ativa, ao proporcionar experiências práticas que conectam ciência, tecnologia, engenharia, artes e matemática à resolução de problemas reais.

Apesar do avanço das pesquisas e das políticas educacionais, persistem barreiras significativas para a implementação da robótica educacional em larga escala, especialmente em escolas públicas. Embora estudos apontem o potencial da robótica para promover aprendizagens significativas e engajamento estudantil, sua inserção contínua e estruturada no currículo ainda é limitada, em razão de fatores como formação docente insuficiente, infraestrutura inadequada e ausência de planejamento curricular [1, 3, 14]. Entre os principais entraves, destacam-se o alto custo de kits proprietários, a dependência de tecnologias fechadas e as restrições orçamentárias das instituições de ensino. Iniciativas nacionais como o RoboFácil [13], o GoGo Board [11] e o Praxedes [7] demonstram a relevância de soluções acessíveis e contextualizadas à realidade brasileira, com foco em hardware aberto e reaproveitamento de materiais. A proposta de [5] sobre a robótica livre também foi precursora nesse

movimento, ao defender o uso de tecnologias abertas e software livre como instrumentos de autonomia pedagógica e democratização tecnológica.

Nesse cenário, a adoção de ferramentas de hardware aberto como o Arduino e o uso de impressoras 3D de baixo custo [4] têm potencializado novas formas de experimentação e prototipagem educacional, permitindo que escolas e laboratórios makers desenvolvam suas próprias soluções robóticas a custos reduzidos [8].

Com o intuito de contribuir para esse movimento, o presente trabalho apresenta o BEMO – Bloco Educacional Modular Open-Source, um robô educacional de baixo custo, modular e replicável, desenvolvido com tecnologias abertas como Arduino, impressão 3D e programação visual. O objetivo central desta pesquisa é projetar, implementar, validar e disponibilizar o BEMO como uma alternativa viável para instituições de ensino que buscam integrar práticas de robótica e STEAM sem os elevados custos associados a kits comerciais.

Além disso, o BEMO adota o *mBlock* como ambiente de programação visual baseado em blocos, permitindo que estudantes iniciantes programem o robô de forma intuitiva, mesmo sem conhecimentos prévios em linguagens textuais. Tal abordagem reduz barreiras de entrada e favorece o desenvolvimento do pensamento computacional em contextos escolares.

2 Trabalhos relacionados

Kits comerciais como LEGO® Education, VEX IQ e Fischertechnik consolidaram-se como referências em robótica educacional por oferecer motores de precisão, sensores avançados e plataformas de programação integradas. Esses sistemas incluem ecossistemas pedagógicos estruturados, com planos de aula alinhados à abordagem STEAM, favorecendo práticas interdisciplinares e aprendizagem ativa [2]. Apesar dessas vantagens, permanecem pouco acessíveis a contextos escolares economicamente restritos.

O principal entrave à adoção desses kits em larga escala, especialmente em escolas públicas brasileiras, é o alto custo de aquisição e manutenção, que dificulta sua incorporação em programas curriculares contínuos [8, 11]. Além do custo, a natureza proprietária dessas plataformas restringe o acesso a esquemas eletrônicos e código-fonte, limitando a autonomia técnica e o aprofundamento dos estudantes em eletrônica e programação embarcada [5, 8]. Diante desse cenário, diversos autores defendem o uso de hardware livre, software aberto e materiais reutilizáveis como caminho para democratizar o acesso à robótica educacional, reduzindo barreiras econômicas sem comprometer a qualidade pedagógica [5, 7, 13].

Entre as primeiras propostas brasileiras nessa direção, destaca-se a Robótica Livre [5] que defende o uso de tecnologias livres como estratégia de autonomia e sustentabilidade educacional. Poucos anos depois, [11] apresentaram uma solução de robótica educacional de baixo custo com a placa GoGoBoard, construída com componentes simples e materiais de descarte, alcançando custos até vinte vezes menores que kits comerciais, sem perda significativa de funcionalidade.

Iniciativas posteriores, como o RoboFácil [13], reforçaram a importância de kits nacionais e acessíveis, com linguagem visual própria e uso offline, enquanto o Praxedes [12] propôs um protótipo educacional baseado no Arduino, eliminando a necessidade de soldagem e demonstrando robustez em atividades escolares. Da mesma

forma, [11] e [8] enfatizam que a utilização de hardware aberto amplia a capacidade de customização e aprendizado técnico por parte dos estudantes e professores.

Apesar desses avanços, muitas dessas iniciativas ainda exigem conhecimentos prévios de programação textual, o que pode representar uma barreira para estudantes iniciantes e escolas em fase inicial de implementação da cultura computacional. Nesse sentido, a adoção de plataformas visuais como *omBlock* – compatíveis com microcontroladores como o Arduino – surge como alternativa para reduzir barreiras de entrada e ampliar a acessibilidade das soluções de robótica educacional.

Mais recentemente, o avanço da manufatura aditiva tem permitido ampliar o acesso à robótica educacional por meio da impressão 3D open-source, como demonstram [4], que desenvolveram uma impressora de baixo custo utilizando hardware e software livres, aplicável à produção de componentes educacionais. Essa convergência entre robótica, cultura maker e impressão 3D reforça o papel das tecnologias abertas como pilares da democratização da educação tecnológica no Brasil.

Em síntese, observa-se um cenário em transformação: kits proprietários ainda dominam o mercado pela qualidade e suporte pedagógico, porém permanecem inacessíveis à maioria das escolas públicas; por outro lado, iniciativas open-source e nacionais vêm demonstrando soluções criativas, sustentáveis e contextualizadas. Esse panorama reforça a necessidade de novas propostas que unam acessibilidade, modularidade e replicabilidade, potencializando a formação STEAM e o desenvolvimento do pensamento computacional de acordo com as competências previstas na BNCC [6].

3 Metodologia

O desenvolvimento do BEMO foi orientado por princípios da cultura maker e da abordagem STEAM, valorizando aprendizagem ativa, experimentação e construção de artefatos como forma de internalização do conhecimento, em consonância com o construcionismo [15]. A proposta buscou estimular estudantes a criar, testar e aprimorar soluções tecnológicas, integrando prática material e processo cognitivo.

Inspirado pelos fundamentos maker, o projeto priorizou um ambiente de criação colaborativa, no qual experimentação e prototipação incremental fazem parte do processo de aprendizagem. O uso de ferramentas acessíveis e a abordagem “mão na massa” foram adotados como estratégias para promover autonomia, curiosidade e pensamento crítico [12].

A abordagem STEAM reforçou essa lógica ao integrar ciência, tecnologia e engenharia a práticas criativas e de resolução de problemas, favorecendo o desenvolvimento de competências como raciocínio lógico, comunicação e inovação [9]. Com base nesses referenciais, o desenvolvimento do BEMO foi estruturado de forma iterativa, envolvendo etapas de concepção, prototipação, testes e aprimoramento contínuo, com registro e avaliação das decisões de design.

Além dos aspectos mecânicos e eletrônicos, a acessibilidade da programação foi definida como requisito central. O BEMO foi projetado para compatibilidade com o *mBlock*, permitindo programação visual por blocos em uma fase inicial e progressão para programação textual via Arduino IDE, alinhando o desenvolvimento técnico aos objetivos pedagógicos de inclusão e aprendizagem ativa.

3.1 Especificação

A etapa inicial consistiu na definição dos requisitos técnicos e pedagógicos que orientariam o desenvolvimento do BEMO. Além de funcional e robusto, o robô deveria ser economicamente acessível, replicável por escolas com recursos limitados e adequado a atividades introdutórias de robótica e programação. Foram estabelecidos critérios como baixo custo de construção, montagem sem soldagem, modularidade mecânica, compatibilidade com Arduino e possibilidade de uso com ambientes em blocos.

Adicionalmente, buscou-se garantir um design passível de adaptações e expansões, favorecendo tanto tarefas básicas de lógica e movimento quanto desafios mais avançados com sensores e práticas investigativas orientadas pela abordagem STEAM. Essa etapa resultou em um conjunto de requisitos que nortearam todas as decisões de engenharia e pedagógicas subsequentes.

A programação foi planejada com foco em acessibilidade para iniciantes, assegurando compatibilidade com o mBlock, que permite criar lógicas de controle por blocos e reduz barreiras para quem não tem experiência prévia. O sistema também suporta o Arduino IDE, possibilitando progressão gradual para código textual à medida que os estudantes avançam.

3.2 Prototipagem

Com os requisitos definidos, iniciou-se a fase de prototipagem, conduzida de forma iterativa. Primeiramente, foram modeladas as partes estruturais do robô em software CAD, considerando ergonomia, distribuição dos componentes e simplicidade de montagem. Em seguida, as peças foram impressas em PLA, material amplamente utilizado em contextos educacionais por sua disponibilidade e facilidade de produção.

A montagem inicial buscou validar o encaixe das peças, a posição dos motores, o acesso às portas do microcontrolador e a estabilidade do conjunto. Paralelamente, os componentes eletrônicos — como Arduino Nano, shield de conexão, sensores e motores DC — foram integrados ao chassi, com especial atenção à organização dos cabos para garantir clareza de montagem e manutenção. A cada versão construída, ajustes eram realizados para melhorar a resistência, reduzir falhas e otimizar a experiência de uso por estudantes iniciantes. Paralelamente ao desenvolvimento físico, também foram realizados testes preliminares de comunicação e controle via mBlock, assegurando compatibilidade com a programação por blocos desde as primeiras versões do protótipo.

3.3 Teste Funcionais

Após a montagem, foram conduzidos testes funcionais para avaliar a confiabilidade da estrutura, o desempenho dos motores, a precisão dos sensores e a autonomia da bateria. As avaliações incluíram tarefas como deslocamento em linha reta e curvas, detecção e desvio de obstáculos, acompanhamento de linha e resistência do conjunto a manuseio contínuo.

Além dos testes técnicos, realizou-se uma verificação pedagógica preliminar, avaliando a facilidade de montagem, a clareza das conexões e o potencial de uso em atividades introdutórias de programação visual. O processo de testagem foi fundamental para identificar ajustes no design, reforçar pontos de estrutura e simplificar etapas de montagem, garantindo que o produto final atendesse

aos objetivos educacionais e técnicos estabelecidos. Essa etapa também verificou a responsividade do robô aos comandos enviados via mBlock, assegurando a funcionalidade do ambiente de programação por blocos como ferramenta inicial de interação com o protótipo.

4 Arquitetura do Sistema

O BEMO foi projetado como uma plataforma educacional acessível, modular e aberta, combinando hardware de baixo custo, impressão 3D e componentes amplamente disponíveis no mercado brasileiro. Sua arquitetura integra elementos eletrônicos, mecânicos e estruturais de forma simplificada, com o objetivo de facilitar a aprendizagem, reduzir barreiras técnicas e incentivar a prototipação e modificação pelos estudantes. Além disso, o sistema foi estruturado para garantir compatibilidade com ambientes de programação visual, permitindo controle e experimentação por meio de blocos, sem comprometer a possibilidade de utilização avançada com programação textual.

4.1 Hardware e Componentes

A plataforma utiliza o Arduino Nano como unidade principal de processamento devido ao baixo custo, ampla documentação e compatibilidade com ambientes educacionais, permitindo tanto programação em blocos para iniciantes quanto programação textual para usuários avançados. Para viabilizar uma arquitetura plug-and-play e eliminar a necessidade de soldagem, foi adotado um IO Shield, responsável por conexões seguras entre sensores, motores e bateria. O robô integra ainda motores DC, sensores de linha e obstáculos, driver de motores e bateria recarregável, possibilitando atividades de movimento, navegação básica e interação com o ambiente. A Tabela 1 apresenta os principais componentes e suas funções, todos com ampla disponibilidade no mercado brasileiro.

4.2 Estrutura e Design Mecânico

O chassi do BEMO foi projetado em software CAD de forma modular, permitindo sua impressão em componentes independentes e facilitando a substituição ou atualização de partes específicas conforme necessário. A escolha do PLA como material base deve-se à sua disponibilidade, baixo custo e facilidade de impressão em ambientes educacionais e comunitários, o que favorece a replicação do projeto em escolas e laboratórios makers.

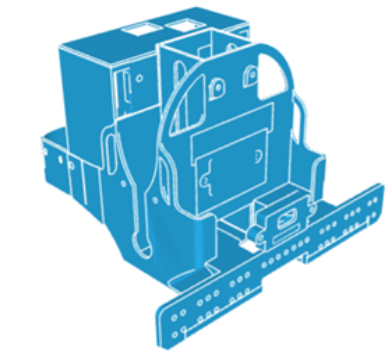


Figura 1: Visão superior frontal direita do chassi em CAD.

Tabela 1: principais do BEMO, funções, justificativas e preços

Componente	Função	Justificativa	Preço
Arduino Nano	Microcontrolado	Plataforma aberta, popular e didática	R\$ 29,92
IO Shield	Interface de conexão	Dispensa solda; facilita manutenção	R\$ 13,20
Motores DC e rodas (x2)	Locomoção	Baixo custo e robustez para atividades básicas	R\$ 26,91
Driver L9110S	Controle dos motores	Simplicidade e eficiência para robôs educacionais	R\$ 7,27
Sensor TCRT5000	Seguidor de linha	Alta precisão e fácil integração	R\$ 22,40
Sensor VL53L0X	Detecção de obstáculos	Melhor desempenho que ultrassônico de baixo custo	R\$ 21,00
Bateria 18650	Alimentação	Boa autonomia e disponibilidade local	R\$ 28,00
Roda boba	Estabilização	Reduz atrito e melhora equilíbrio	R\$ 5,99
Jumpers	Conexões elétricas	Flexibilidade e fácil substituição	R\$ 4,66
Parafusos e porcas M3	Fixação estrutural	Padrão comum e baixo custo	R\$ 3,60
Carregador	Recarga da bateria	Reutilizável e fácil aquisição	R\$ 24,49
Filamento PLA (170g) ¹	Fabricação do chassi	Material acessível e fácil impressão	R\$ 14,94

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos preços praticados no mercado em agosto de 2025.

Durante o processo iterativo de design, foi priorizado um formato compacto e robusto, com suporte adequado para os motores e espaço interno suficiente para acomodar os componentes eletrônicos de maneira organizada. Além disso, foram consideradas questões de ergonomia e manutenção, posicionando-se interfaces externas e

¹O custo do filamento foi estimado com base no peso total das peças impressas e no preço médio por quilograma do material.

aberturas estratégicas para garantir acesso rápido aos módulos, conectores e à bateria, sem necessidade de ferramentas adicionais.

Esse cuidado estrutural visa garantir que estudantes possam explorar montagem, desmontagem e modificações de forma segura e intuitiva, reforçando o caráter formativo e exploratório da plataforma.

A Figura 1 apresenta uma visualização tridimensional do chassi desenvolvido em CAD, destacando seus compartimentos internos, pontos de fixação e superfícies de encaixe projetadas para suportar a modularidade do sistema.

4.3 Modularidade e Extensões Funcionais

A modularidade foi um princípio central no desenvolvimento do BEMO, possibilitando diferentes configurações de acordo com os objetivos pedagógicos e níveis de habilidade dos estudantes.

O robô conta com módulos específicos que podem ser acoplados ao chassi base:

- Módulo básico: operação padrão e uso inicial, adequado para introdução à robótica e lógica de movimentação.
- Módulo sumô: estrutura frontal reforçada para competições e desafios de empurrão, incentivando estratégia e ajuste fino dos parâmetros de controle.
- Módulo LEGO: superfície adaptada para encaixe de peças e prototipação livre, permitindo expansão física e integração com construções externas.
- Módulo plotter: braço com suporte para caneta para atividades de arte computacional e geometria, favorecendo exploração criativa e interdisciplinar com artes e matemática.

A conexão entre módulos é realizada por encaixes físicos e pontos de fixação simples, permitindo substituições rápidas sem ferramentas adicionais e incentivando a experimentação estrutural. Essa abordagem reduz barreiras técnicas e amplia o potencial didático do robô em ambientes maker e escolares. Essa modularidade apoia trajetórias de aprendizagem progressiva, permitindo que os estudantes avancem de tarefas introdutórias para desafios mais complexos por meio de experimentação incremental, em consonância com princípios construcionistas e práticas maker.

A Figura 2 apresenta os principais módulos implementados, ilustrando como o sistema pode assumir diferentes configurações de acordo com o tipo de atividade educacional proposta.

4.4 Integração Eletrônica e Conexões

A integração eletrônica do BEMO foi estruturada com foco em organização física, confiabilidade das conexões e facilidade de manutenção. Todos os componentes são conectados ao IO Shield por meio de cabos padronizados no formato Sinal – VCC – GND, garantindo consistência elétrica e reduzindo erros de ligação durante montagem e substituição de módulos.

O esquema básico de conexão contempla:

- Arduino Nano conectado ao IO Shield;
- Sensores ligados às portas digitais e analógicas;
- Motores conectados ao driver L9110S;
- Driver alimentado por bateria 18650;
- Bateria removível para recarga externa.

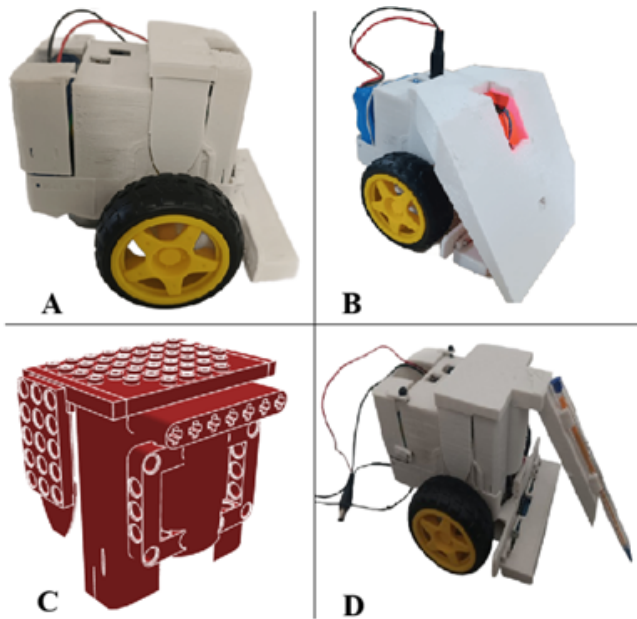


Figura 2: Exemplos dos módulos do BEMO. (A) Básico; (B) Sumô; (C) LEGO; (D) Plotter.

Essa organização permite rápida substituição de componentes, manutenção simplificada e expansão do sistema sem alterações estruturais significativas. A arquitetura também possibilita futuras atualizações de hardware, incluindo a substituição do microcontrolador por alternativas compatíveis, como o ESP32, permitindo a incorporação de conectividade Wi-Fi e Bluetooth em versões futuras da plataforma.

5 Disponibilização e Reprodutibilidade (Open-Source)

A implementação do BEMO seguiu um processo sistemático destinado a garantir reprodutibilidade, acessibilidade e usabilidade em contextos educacionais. O desenvolvimento priorizou escolhas técnicas que favorecessem a adoção por estudantes iniciantes, professores e instituições com recursos limitados.

A fase de montagem foi organizada em etapas sequenciais, iniciando pela preparação do chassi impresso em 3D, fixação dos motores e suporte de rodas, instalação dos módulos eletrônicos e, por fim, conexão dos sensores e bateria. Esse procedimento estruturado permitiu validar a ergonomia do projeto e garantir clareza no posicionamento de cada componente, reduzindo erros e tempo de montagem.

A abordagem plug-and-play foi adotada como princípio educacional central, evitando etapas complexas como soldagem, uso de protoboards frágeis ou necessidade de ferramentas especializadas. Conectores padronizados (Sinal – VCC – GND) e encaixes físicos favoreceram uma experiência acessível, permitindo que a atenção dos aprendizes seja direcionada ao raciocínio lógico e à experimentação, e não a dificuldades mecânicas ou elétricas. Dessa forma, o design apoia práticas pedagógicas ativas, fomentando autonomia, exploração e aprendizagem iterativa.

Além da montagem física, o desenvolvimento incluiu a preparação de arquivos digitais, guias de montagem e exemplos de código. Para garantir acesso e replicabilidade, todos os modelos CAD, arquivos STL, esquemas eletrônicos e códigos-fonte foram disponibilizados em um repositório público, disponível no link <https://guia-rob.vercel.app>. A documentação contempla instruções passo a passo, lista de materiais, recomendações de impressão e tutoriais introdutórios para programação em blocos e em Arduino IDE. A Figura 3 apresenta a página inicial da plataforma online de documentação do BEMO, onde os materiais estão organizados e disponíveis para download, facilitando o processo de construção e exploração por estudantes e educadores.



Figura 3: Página inicial do guia online do BEMO com acesso à documentação, arquivos e tutoriais.

Essa disponibilização pública reforça o caráter open-source do projeto e contribui para sua adoção em ambientes acadêmicos e makers, favorecendo adaptações futuras pela comunidade. Além disso, a documentação aberta permite que educadores e desenvolvedores contribuam com melhorias, ampliem funcionalidades e criem variações do projeto, fortalecendo o ecossistema colaborativo e garantindo evolução contínua da plataforma.

6 Resultados

Os testes e análises conduzidos permitiram validar o BEMO quanto à sua funcionalidade técnica, acessibilidade econômica e aplicabilidade educacional. Os resultados descritos nesta seção evidenciam o atendimento aos requisitos definidos, bem como o potencial da plataforma para uso em atividades escolares e maker.

6.1 Testes Técnicos

A avaliação técnica contemplou testes de locomoção, autonomia energética, precisão dos sensores e resistência estrutural. O robô demonstrou movimentação estável em superfícies lisas e regulares, executando trajetórias retas e curvas com consistência, bem como manobras básicas de navegação. Em testes de autonomia com bateria 18650 totalmente carregada, o sistema permaneceu operacional por período adequado a sessões de atividades educacionais típicas, aproximadamente 100 minutos de operação contínua.

Os sensores apresentaram desempenho satisfatório para aplicações didáticas: o módulo seguidor de linha identificou contrastes com precisão em superfícies padronizadas, e o sensor de proximidade registrou leituras consistentes para detecção de obstáculos em pequena distância, atendendo às necessidades de atividades de lógica robótica e controle. Quanto à integridade estrutural, o chassi

impresso em PLA suportou quedas de baixa altura e manuseio constante por usuários iniciantes sem danos relevantes, indicando robustez compatível com o uso escolar.

6.2 Comparação de Custos

Uma análise comparativa foi realizada considerando o custo total dos componentes que compõem o BEMO, em contraste com kits comerciais amplamente utilizados na educação básica e técnica. O custo aproximado de montagem do BEMO é de cerca de R\$ 200,00, valor obtido a partir da média de preços disponíveis em plataformas brasileiras de e-commerce populares (por exemplo, marketplaces nacionais) na data de elaboração deste estudo (segundo semestre de 2025).

Esse custo inclui microcontrolador, motores, sensores, bateria, driver, conectores e materiais de impressão 3D. Não foram considerados valores de serviços externos de impressão, pois o projeto é voltado para instituições com infraestrutura maker básica ou parcerias comunitárias — premissa comum em programas de robótica educacional pública.

A Tabela 2 apresenta os valores comparativos entre o BEMO e kits proprietários amplamente utilizados em escolas e laboratórios educacionais. Observa-se uma diferença significativa, reforçando o potencial do BEMO como alternativa de baixo custo e democratização do acesso à robótica educacional.

Tabela 2: Comparação de custos entre o BEMO e kits comerciais

Plataforma	Tipo	Custo aproximado (BRL)
BEMO (projeto proposto)	Aberto, 3D printed	~R\$ 200,00
Kit LEGO® Education SPIKE / EV3	Proprietário	~R\$ 3.500 – 6.000
VEX IQ	Proprietário	~R\$ 4.000 – 6.000
Fischertechnik Robotics	Proprietário	~R\$ 5.000 – 7.000

Fonte: Cotação realizada em plataformas de comércio eletrônico no Brasil.

Não foram considerados custos de amortização da impressora 3D e consumo energético, assumindo-se a existência de infraestrutura maker básica ou parcerias institucionais. Reconhece-se que esse fator pode impactar a replicabilidade em escolas sem acesso prévio a tais recursos.

6.3 Avaliação da Modularidade e Aplicações

A modularidade do sistema foi validada por meio de diferentes configurações práticas, permitindo alternar entre módulos de uso básico, competição, construção com LEGO e desenho/plotter sem necessidade de ferramentas ou ajustes complexos. Esse aspecto favoreceu experimentação e ampliou as possibilidades pedagógicas, permitindo aplicações tanto em aulas regulares quanto em oficinas e clubes de robótica.

Observou-se que estudantes conseguem montar, desmontar e alterar os módulos com facilidade, indicando que o design cumpre seu objetivo de acessibilidade e incentivo à exploração criativa. A diversidade de usos permite trabalhar conceitos de programação, lógica, automação, artes, geometria e resolução de problemas.

Os resultados obtidos demonstram que o BEMO atende aos objetivos de baixo custo, modularidade e robustez para aplicações educacionais, confirmando seu potencial como ferramenta de apoio

ao ensino de robótica, programação e STEAM em diferentes contextos escolares. Além disso, a possibilidade de integrar diferentes estratégias de controle, desde comandos básicos até programações mais avançadas, reforça o caráter escalonável da plataforma e seu alinhamento com trajetórias formativas progressivas em robótica e computação.

6.4 Resultados Preliminares da Avaliação Educacional

Embora a avaliação pedagógica sistemática com estudantes e professores, envolvendo observação em sala e análise de aprendizagem, esteja planejada como fase posterior do estudo, foi conduzida uma avaliação preliminar com um grupo piloto de estudantes ($N=12$) em formato de oficinas, com o objetivo de verificar a usabilidade inicial e o engajamento com a plataforma.

As atividades foram realizadas com 12 estudantes do ensino médio, organizados em grupos de quatro participantes, que realizaram atividades de montagem e experimentação com o robô BEMO ao longo das oficinas. A coleta de dados ocorreu por meio de observação direta estruturada pelos pesquisadores e aplicação de questionário pós-atividade contendo questões abertas e itens em escala Likert (1–5) relacionados à facilidade de montagem, compreensão dos conceitos e engajamento. Os dados foram analisados de forma descritiva, considerando frequências e tendências gerais das respostas, sem aplicação de testes estatísticos inferenciais, em razão do caráter exploratório da avaliação.

Os resultados indicaram alta aceitação e interesse pelo uso do BEMO. A maioria dos participantes relatou que a programação em blocos via mBlock foi simples e intuitiva, enquanto o processo de montagem do robô foi percebido como claro e acessível, corroborando a proposta plug-and-play adotada. Observou-se predominância de respostas positivas quanto à contribuição do robô para a compreensão de conceitos teóricos, com estudantes destacando que a experiência prática favoreceu a fixação de conteúdos relacionados à lógica computacional e à eletrônica básica, em consonância com princípios construcionistas.

Adicionalmente, foi observado elevado engajamento durante as atividades, com diversos estudantes demonstrando interesse em participar de novas experiências e aprofundar conhecimentos sobre Arduino, sensores e automação. Esses indícios reforçam o potencial do BEMO como ferramenta de mediação pedagógica em atividades STEAM.

Os resultados apresentados possuem caráter preliminar e exploratório, servindo como evidência inicial de usabilidade e aceitação da plataforma, além de fundamentar futuras avaliações educacionais em contextos escolares ampliados. As atividades com participantes foram voluntárias, não envolveram coleta de dados sensíveis e seguiram princípios éticos aplicados à pesquisa em educação, garantindo anonimato e consentimento dos estudantes.

7 Discussão

Os resultados obtidos indicam que o BEMO alcança seus objetivos principais de acessibilidade, modularidade e aplicabilidade educacional. A adoção de componentes de baixo custo associada à impressão 3D evidência o potencial da plataforma para contribuir com a democratização do acesso à robótica educacional, possibilitando que

escolas públicas, laboratórios comunitários e grupos maker adotem soluções tecnológicas sem depender de kits proprietários de alto custo. A modularidade demonstrou ser um diferencial relevante, permitindo a exploração de múltiplos contextos e linguagens computacionais em consonância com abordagens STEAM e princípios construcionistas. Em contextos escolares sem impressora 3D, a adoção pode ocorrer por meio de parcerias com laboratórios makers, universidades ou serviços comunitários de fabricação digital.

Outro benefício observado está relacionado ao caráter plug-and-play do projeto. A ausência de soldagem e de processos mecânicos complexos reduz barreiras técnicas, permitindo que iniciantes concentrem sua atenção em conceitos fundamentais de lógica, programação e engenharia. Embora essa abordagem tenha reduzido erros de conexão, observou-se inicialmente dificuldade dos estudantes na organização dos cabos e identificação das portas corretas, especialmente durante o primeiro contato com sensores múltiplos. Ainda assim, tais dificuldades foram superadas ao longo das atividades, indicando adequação do design ao processo de aprendizagem progressiva.

A adoção do *mBlock* como ambiente de programação inicial mostrou-se estratégica para reduzir barreiras técnicas e apoiar uma trajetória formativa gradual, na qual estudantes iniciam com programação em blocos e avançam posteriormente para código textual em Arduino IDE, favorecendo o desenvolvimento progressivo do pensamento computacional.

Apesar dos resultados positivos, algumas limitações foram identificadas. O uso do Arduino Nano, embora adequado em termos de custo e simplicidade, impõe restrições relacionadas à capacidade de processamento, memória e comunicação, especialmente pela ausência de conectividade Wi-Fi ou Bluetooth nativa. A escolha do Arduino Nano priorizou acessibilidade econômica e simplicidade didática, favorecendo contextos educacionais introdutórios mesmo em detrimento de recursos avançados presentes em plataformas mais recentes. Além disso, motores DC simples apresentam torque limitado em superfícies irregulares ou sob cargas adicionais, restringindo aplicações em cenários mais exigentes. Tais limitações, entretanto, estão alinhadas ao propósito educacional do projeto e não comprometem sua aplicabilidade educacional.

Com base nessa análise, melhorias foram planejadas para versões futuras do BEMO. Entre elas destaca-se a disponibilização de uma variante utilizando ESP32, permitindo conectividade sem fio e ampliando possibilidades de atividades relacionadas à Internet das Coisas (IoT), programação remota e telemetria. Outras evoluções incluem refinamento do firmware, criação de novos módulos mecânicos, fortalecimento estrutural do chassi e expansão da biblioteca de materiais didáticos e exemplos de código, contribuindo para a consolidação da plataforma como solução aberta de robótica educacional.

De modo geral, as evidências coletadas demonstram que o BEMO atende de forma satisfatória às demandas de acessibilidade, reprodutibilidade e propósito pedagógico, reforçando seu potencial para ampliar o acesso ao ensino de robótica em diferentes contextos educacionais. A natureza open-source do projeto favorece evolução contínua por meio de contribuições da comunidade acadêmica e maker, permitindo melhorias incrementais orientadas por feedback de estudantes e educadores.

8 Conclusão

O desenvolvimento do BEMO demonstrou que é possível conceber uma plataforma de robótica educacional acessível, modular e alinhada às demandas contemporâneas de ensino de tecnologia. Ao integrar impressão 3D, componentes de baixo custo e princípios pedagógicos baseados em aprendizagem ativa e cultura maker, o projeto viabiliza experiências práticas de programação, eletrônica e design, ampliando o acesso a conteúdos tradicionalmente restritos a escolas com maior infraestrutura.

A proposta apresentou resultados técnicos satisfatórios, com desempenho consistente em atividades de locomoção, navegação e interação com o ambiente. A facilidade de montagem, a ausência de soldagem e a modularidade reforçam seu potencial como recurso didático inclusivo, capaz de apoiar tanto introdução à robótica quanto experimentações mais avançadas. Além disso, o caráter open-source e a disponibilização pública dos arquivos e documentação incentivam a colaboração, adaptação e evolução contínua do projeto por educadores, estudantes e comunidades maker.

O impacto potencial do BEMO se destaca especialmente em contextos de educação pública, onde restrições orçamentárias frequentemente limitam o acesso a tecnologias educacionais. Com custo aproximado de R\$ 200,00, significativamente inferior ao de kits proprietários, o projeto oferece um caminho concreto para ampliar a inclusão digital e fortalecer iniciativas de educação STEAM, programação e pensamento computacional em larga escala.

Além disso, a possibilidade de iniciar a programação por blocos e avançar progressivamente para código em Arduino IDE reforça o caráter formativo da plataforma, promovendo uma transição gradual do pensamento computacional introdutório para práticas de programação mais avançadas.

Espera-se que a disseminação do BEMO contribua para democratizar o ensino de robótica no Brasil, fomentando autonomia, criatividade e protagonismo estudantil. Trabalhos futuros incluem a expansão da documentação pedagógica, o aperfeiçoamento do firmware, a criação de novos módulos mecânicos e a disponibilização de uma versão com microcontrolador ESP32, possibilitando conectividade e aplicações em Internet das Coisas. Dessa forma, o projeto permanece aberto a melhorias contínuas, consolidando-se como uma plataforma colaborativa e escalável para a educação tecnológica.

Referências

- [1] Romeu Afecto. 2024. *A Robótica Educacional: Avanços e Desafios para o Ensino Médio Integrado ao Técnico*. Ph. D. Dissertation. Universidade Nove de Julho (UNINOVE), São Paulo.
- [2] Aray K. Amanova, Laura A. Butabayeva, Galiya A. Abayeva, Akerke N. Umirbekova, Saltanat K. Abildina, and Airegim A. Makhmetova. 2025. A systematic review of the implementation of STEAM education in schools. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 21, 1 (2025), em2568. <https://doi.org/10.29333/ejmste/15894>
- [3] Flavio R. Campos. 2017. Robótica Educacional no Brasil: questões em aberto, desafios e perspectivas futuras. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação* 12, 4 (2017), 2108–2121. <https://doi.org/10.21723/riaee.v12.n4.out.dez.2017.8778>
- [4] Gleydson Galvão Celerino, Jonas Ferreira da Paixão, and Wanderley Patrício de Sousa Neto. 2022. Construção de uma impressora 3D de baixo custo utilizando hardware e software de código aberto.
- [5] Danilo Rodrigues César. 2005. Robótica Livre: Robótica Educacional com Tecnologias Livres. In *Fórum Internacional de Software Livre*. 1–6.
- [6] Brasil. Ministério da Educação. 2018. Base Nacional Comum Curricular. MEC.
- [7] Francisco Ioneiton da Silva and Daniel Scherer. 2013. Praxedes: protótipo de um kit educacional de robótica baseado na plataforma Arduino. *EaD & Tecnologias*

- Digitais na Educação* 1, 1 (2013), 44–56. <https://ojs.ufgd.edu.br/ead/article/view/2654> Acesso em: 27 out. 2025.
- [8] Almir de Oliveira and Elloá Guedes. 2015. Uma Análise Comparativa de Kits para a Robótica Educacional. In *Anais do XXIII Workshop sobre Educação em Computação (WEI)*. Sociedade Brasileira de Computação, Recife, 110–119. <https://doi.org/10.5753/wei.2015.10227>
- [9] Rodger Roberto Alves de Sousa, Sidney Lopes Sanchez Júnior, Lucas Rodrigues Afonso, and Francisléia dos Santos Borges. 2024. A integração STEAM no currículo escolar: desafios e benefícios. *Revista Interseção* 6, 1 (nov 2024), 251–271. <https://doi.org/10.48178/intersecao.v6i1.475> Acesso em: 27 out. 2025.
- [10] Nídia Mara Melchiades Castelli Fernandes and Dulcimeire Aparecida Volante Zanon. 2022. Integração entre robótica educacional e abordagem STEAM: desenvolvimento de protótipos sobre responsabilidade social e sustentabilidade. *Dialogia* 40 (2022). <https://doi.org/10.5585/40.2022.21600>
- [11] Dante A. Medeiros Filho and Paulo C. Gonçalves. 2008. Robótica Educacional de Baixo Custo: Uma Realidade para as Escolas Brasileiras. In *Workshop sobre Informática na Escola (WIE), XXVIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*. Belém do Pará, PA.
- [12] Sylvia Libow Martinez and Gary S. Stager. 2013. *Invent to Learn: Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom*. Constructing Modern Knowledge Press.
- [13] Leonardo Cunha Miranda, Fábio Ferrentini Sampaio, and José Antonio dos Santos Borges. 2010. RoboFácil: Especificação e Implementação de um Kit de Robótica para a Realidade Educacional Brasileira. *Revista Brasileira de Informática na Educação* 18, 3 (2010), 46–54. <https://doi.org/10.5753/rbie.2010.18.03.46>
- [14] Aline Bianca Moraes and Josiane Patricia Brandt. 2023. Desafios da Robótica Educacional como Recurso Integrado ao Processo Pedagógico de Professores do Ensino Fundamental. *Saberes em Foco Revista da SMED NH* 1 (2023), 27–38.
- [15] Seymour Papert. 1994. *A Máquina das Crianças: Repensando a Escola na Era da Informática*. Artes Médicas, Porto Alegre, RS.
- [16] Daniel Scherer, Natanael Bezerra da Silva, and Davis Matias de Oliveira. 2020. Robótica educacional de baixo custo com Arduino em escolas públicas: um relato de experiência. In *Congresso sobre Tecnologias na Educação (Ctrl+E)*. Sociedade Brasileira de Computação.
- [17] José Armando Valente. 1993. *Computadores e conhecimento: repensando a educação*. Unicamp, Campinas, SP.
- [18] Douglas Vaz, Sandra Coimbra Rodrigues, Paulo Fossatti, and Hildegard Susana Jung. 2025. Educação 4.0: Desafios e Perspectivas para a Aprendizagem. *Vivências* 42 (2025), 7–23.
- [19] Jeannette M. Wing. 2006. Computational Thinking. *Commun. ACM* 49, 3 (2006), 33–35.