

Desenvolvimento e Avaliação de um Kit Maker de Baixo Custo para Robótica Educacional

¹Pedro Lucas Q. Pinheiro, ²Daniel D. Costa, ³George Guilherme S. Silva

¹Bacharelado em Ciência da Computação – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) – Imperatriz – MA – Brasil

²Centro de Ciências de Imperatriz – Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Imperatriz – MA – Brasil

³Bacharelado em Engenharia de Alimentos - Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - Imperatriz - MA - Brasil

{pedro.l@acad.ifma.edu.br , daniel.dc@ufma.br,
guilherme.george@discente.ufma.br}

Abstract. *The high cost of proprietary kits limits the expansion of educational robotics in public schools. To overcome this barrier, this article reports the development of "RoboXperience", a low-cost maker ecosystem. The project structured 17 modular experiments based on the competencies and axes outlined in the BNCC, using the agile Scrum framework, virtual prototyping, and 3D printing to ensure part durability. Practical validation indicated the potential to expand access to STEAM education and reduce limitations associated with technological obsolescence in school environments.*

Resumo. *O alto custo de kits proprietários limita a expansão da robótica educacional na rede pública. Para contornar essa barreira, este artigo relata o desenvolvimento do "RoboXperience", um ecossistema maker de baixo custo. O projeto estruturou 17 experimentos modulares estruturados com base em competências e eixos previstos na BNCC, utilizando a metodologia ágil Scrum, prototipagem virtual e impressão 3D para garantir durabilidade às peças. A validação prática indicou potencial para ampliar o acesso ao ensino STEAM e reduzir limitações associadas à obsolescência tecnológica em ambientes escolares.*

1. Introdução

A recente incorporação do complemento sobre Computação à Base Nacional Comum Curricular (BNCC) evidencia a necessidade de desenvolver o pensamento computacional e a compreensão do mundo digital nas instituições de Educação Básica (Brasil, 2018; Brasil, 2022). Nesse cenário, a robótica educacional tem sido apontada como ferramenta interdisciplinar relevante para o desenvolvimento de competências lógicas e cognitivas, integrando-se fortemente ao modelo STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática) (Custodio; Rosa, 2024). Contudo, a adoção dessa tecnologia em larga escala, sobretudo em instituições públicas de ensino, esbarra em um obstáculo econômico relevante: o alto custo de aquisição e manutenção de hardwares educacionais fechados e comerciais, criando uma barreira à democratização tecnológica.

Para transpor essa restrição financeira, os espaços *makers* e a utilização de tecnologias de código aberto (*open-source*) despontam como alternativas viáveis e inclusivas. A literatura aponta que a união da manufatura aditiva (impressão 3D) com plataformas acessíveis, como o Arduino, facilita a criação de protótipos e a aplicação da automação no ambiente escolar de forma sustentável (Felisardo; Santos; Galvão, 2023). É nesse ecossistema de inovação que o projeto "RoboXperience" foi concebido, com o objetivo inicial de auxiliar docentes a integrar o ensino da robótica e do pensamento computacional em suas práticas pedagógicas.

Trabalhos anteriores já detalharam a concepção do projeto RoboXperience e validaram sua eficácia educacional junto a professores e alunos (Pinheiro et al., 2025). No entanto, a transição de um aparato experimental de laboratório para o desenvolvimento de um produto escalável, capaz de embasar uma startup educacional de baixo custo, exige a superação de complexos desafios de engenharia e modelagem que ainda não foram explorados na literatura do projeto.

Nesse contexto, este artigo analisa o processo de desenvolvimento "do protótipo ao produto" do kit educacional RoboXperience. Por meio de um estudo de caso focado no desenvolvimento de um ecossistema composto por 17 experimentos modulares, o presente trabalho detalha as decisões de design iterativo da solução. O desenvolvimento, norteado pelas competências da BNCC e pela Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL), exigiu a adaptação de metodologias ágeis (Scrum) para a estruturação de um fluxo contínuo de manufatura. São discutidos os gargalos técnicos superados na criação das peças, perpassando desde a prototipagem virtual de circuitos até a modelagem paramétrica e a impressão 3D.

Por fim, visando validar o potencial de inovação e o modelo de negócio escalável exigido no contexto maker, este trabalho demonstra a viabilidade econômica do hardware desenvolvido. Comprova-se como as estratégias de projeto permitem mitigar o alto Custo Total de Propriedade (TCO), viabilizando a implantação de laboratórios de robótica completos a uma fração do investimento exigido por equivalentes de mercado, promovendo, assim, a efetiva democratização do ensino STEAM.

2. Decisões de Projeto e Estruturação do Kit

A transição de um experimento de laboratório para um hardware educacional comercializável exigiu o estabelecimento de premissas rigorosas de engenharia de produto. O desenvolvimento do RoboXperience foi guiado pela necessidade de conciliar baixo custo de produção, robustez mecânica para o uso escolar contínuo e alinhamento direto com as diretrizes pedagógicas vigentes.

2.1. Concepção Arquitetural e Alinhamento Curricular

A etapa preliminar do projeto concentrou-se na definição da arquitetura de hardware base, exigindo um equilíbrio estratégico entre a viabilidade comercial e a aplicabilidade didática. Para atender à premissa de um ecossistema maker de baixo custo, a plataforma de código aberto Arduino foi escolhida em detrimento de alternativas como micro:bit ou ESP32, justificando-se pela ampla disponibilidade local de componentes, vasta comunidade de apoio e facilidade de manutenção. Conforme ressaltam Felisardo, Santos e Galvão (2023), o Arduino destaca-se no desenvolvimento de dispositivos

automatizados devido ao seu custo acessível, ambiente de programação (IDE) flexível, caráter multiplataforma e facilidade de montagem. Especificamente, selecionou-se o modelo Arduino UNO, que oferece um processamento adequado e quantidade suficiente de portas de entrada e saída (I/O) para as rotinas exigidas pelos experimentos educacionais. Essa escolha corrobora a visão de McRoberts (2011), que aponta o Arduino como a ferramenta ideal para a criação rápida de projetos interativos sem a necessidade de conhecimentos industriais especializados prévios em eletrônica.

Com o hardware central definido, a estruturação dos experimentos exigiu um alinhamento aos marcos legais vigentes. O design da solução não trata a robótica como uma disciplina isolada, mas como uma ferramenta prática e interdisciplinar. Em nível fundamental, o desenvolvimento foi embasado nas dez Competências Gerais da Base Nacional Comum Curricular, com ênfase em duas diretrizes principais: a Competência 2 (*Pensamento Científico, Crítico e Criativo*), que exige do aluno a investigação de causas e a criação de soluções tecnológicas; e a Competência 5 (*Cultura Digital*), que determina a compreensão e a criação crítica de tecnologias, transformando o aluno de um mero consumidor em um criador de tecnologia.

Para materializar essa diretriz curricular em um produto físico, o design educacional do RoboXperience foi estruturado sob a ótica da Aprendizagem Baseada em Projetos (*PBL*) integrada à abordagem STEAM. Como aponta a literatura, a PBL é fundamental para a educação STEAM, pois promove a transdisciplinaridade e conecta os conceitos escolares abstratos com a resolução de problemas reais (Custodio; Rosa, 2024). Dessa forma, buscou-se inserir elementos do cotidiano prático dos alunos nos experimentos, como a modelagem de semáforos, pianos e veículos autônomos, transformando a aprendizagem em algo palpável e acessível (Zilli, 2004).

Essa materialização da tecnologia, atrelada à cultura *maker* do "pôr a mão na massa", estimula o protagonismo criativo e proativo dos estudantes na solução de problemas (Blikstein; Valente; Moura, 2020).

Ademais, a progressão dos experimentos foi meticulosamente guiada pelas Normas sobre Computação na Educação Básica (Brasil, 2022), que estruturam o aprendizado em três eixos, nos quais o hardware do kit transita de forma prática:

- **Pensamento Computacional:** A construção mecânica e a programação dos robôs estimulam a decomposição de problemas, o reconhecimento de padrões (como loops de repetição), o desenvolvimento de algoritmos e a abstração.
- **Mundo Digital:** O kit materializa a relação entre hardware e software. O aluno compreende empiricamente o fluxo de Entrada, Processamento e Saída, onde o robô capta dados do ambiente via sensores (luz, distância), os processa no microcontrolador Arduino e executa ações físicas via atuadores.
- **Cultura Digital:** O uso dos kits instiga debates sobre o impacto da automação na sociedade, a ética da inteligência artificial e a sustentabilidade, como a prática da robótica sustentável.

O ecossistema final do RoboXperience foi consolidado em 17 experimentos práticos. Para garantir a progressão pedagógica, esses experimentos foram divididos em três módulos de dificuldade crescente, cada qual focado em um eixo e em competências específicas da BNCC, permitindo que o aluno avance do “Pensamento Computacional desplugado/lógico” para a “Cultura Digital aplicada”, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1. Disposição dos experimentos modulares e competências da BNCC.

Módulo	Experimento	Descrição	Eixo / Competência BNCC
1	Semáforo	Introdução ao uso de LEDs.	Mundo Digital: Identificação de Hardware (Atuadores).
	Piano	Introdução ao uso de botões.	Mundo Digital: Sistemas de Entrada de Dados.
	Semáforo com botão	Uso em conjunto de LEDs e botões.	Pensamento Computacional: Lógica condicional básica (Se/Então).
	LED RGB controlado com potenciômetro	Introdução ao Potenciômetro	Mundo Digital: Representação e variação de dados físicos.
	Braço robótico (movimento simples)	Uso do Servo Motor	Mundo Digital: Atuadores de precisão e mecânica.
	Braço robótico com potenciômetro	Uso em conjunto de Servo Motors e Potenciômetro.	Mundo Digital e Pensamento Computacional: Integração de Entrada/Saída e mapeamento de valores.
	Medidor de Distância	Introdução ao Sensor Ultrassônico e ao uso de Display.	Mundo Digital: Coleta de dados do mundo físico.
	Medidor digital de Temperatura	Uso de Sensor de Temperatura e Display.	Mundo Digital: Sensores e visualização de dados.
	Robô Dançarino	Uso em conjunto de Servo Motor e Sensor Ultrassônico.	Pensamento Computacional: Criação de algoritmos e sequências.
2	Carro com LDR	Introdução ao uso de DC Motors, e Foto Resistor.	Mundo Digital: Motores contínuos e sensores de luz.
	Carro Autônomo com sensor Ultrassônico	Introdução a automação e uso mais avançado do Sensor Ultrassônico.	Pensamento Computacional: Automação, Algoritmos de desvio de obstáculos.
	Carro Autônomo com IR	Introdução ao Sensor IR.	Pensamento Computacional: Lógica de tomada de decisão com sensores.
	Carro controlado por controle IR	Transmissão e Recebimento de dados com IR	Mundo Digital: Redes, transmissão e protocolos de dados.
	Carro controlado via Bluetooth	Transmissão e Recebimento de dados com Bluetooth.	Mundo Digital: Comunicação sem fio e integração com dispositivos.
3	Braço Robótico Avançado	Uso de Flex Sensor e Giroscópio	Pensamento Científico: Resolução de problemas complexos físicos/digitais.
	Carro de Sumô	Uso em conjunto de Sensor IR e Sensor Ultrassônico.	Pensamento Computacional: Estratégia, abstração e algoritmos complexos.
	Carro Seguidor de linha	Automação com o uso do Sensor IR.	Pensamento Computacional: Reconhecimento de padrões e laços de repetição (Loops).

2.2. Metodologia Ágil no Fluxo de Desenvolvimento de Hardware

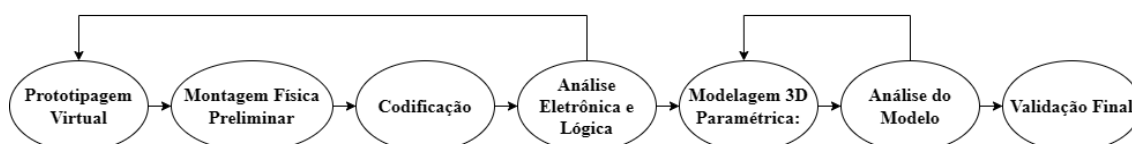
A transição da concepção lógica para a manufatura física dos 17 experimentos exigiu um gerenciamento de projeto rigoroso. Para isso, adaptou-se a metodologia ágil Scrum ao contexto de desenvolvimento de hardware educacional. Conforme Cohn (2011), o Scrum baseia-se em modelos iterativos e incrementais, caracterizando-se por equipes

autogerenciadas e ciclos curtos de desenvolvimento focados na entrega contínua de valor e na mitigação precoce de riscos. Essa abordagem iterativa foi fundamental para o projeto, permitindo ciclos rápidos de tentativa, erro e correção em cada etapa da manufatura, garantindo flexibilidade para adaptar as peças físicas.

O fluxo de trabalho padronizado para a concepção de cada experimento foi estruturado em um pipeline de sete etapas iterativas, que funcionavam como pequenos sprints de desenvolvimento tecnológico:

1. **Prototipagem Virtual:** Criação e simulação do circuito base utilizando a plataforma *Tinkercad Circuits*. Essa etapa permite validar a lógica eletrônica antes de expor os componentes físicos a riscos de curtos-circuitos ou danos, uma estratégia essencial de redução de custos.
2. **Montagem Física Preliminar:** Conexão eletrônica real dos componentes em protoboards, ainda sem a estruturação mecânica 3D.
3. **Codificação:** Desenvolvimento da lógica de programação e embarque do código na placa Arduino UNO.
4. **Análise Eletrônica e Lógica:** Testes de funcionamento prático do circuito. Caso houvesse falhas ou melhorias possíveis, a equipe aplicava o princípio ágil de integração de feedback e testes contínuos, seguindo os princípios ágeis de iteração (Cohn, 2011), retornando imediatamente à etapa de codificação ou montagem física.
5. **Modelagem 3D Paramétrica:** Desenvolvimento do modelo 3D das peças mecânicas e suportes. Optou-se pela utilização do software *Autodesk Fusion 360*, ferramenta escolhida por fornecer excelente controle de tolerâncias paramétricas, histórico de versões e facilidade para adequar o invólucro aos componentes eletrônicos.
6. **Análise do Modelo:** Impressão de validação geométrica. A iteratividade ágil foi importante nesta fase, o ciclo de modelagem no Fusion 360 era repetido múltiplas vezes até alcançar encaixes com tolerância adequada para motores e parafusos.
7. **Validação Final:** Testes práticos do experimento completo já estruturado em sua carcaça 3D. O incremento final de cada ciclo era validado junto a discentes de nível médio, técnico e superior vinculados à Fábrica de Inovação do IFMA - Campus Imperatriz, conforme sintetizado na Figura 1.

Figura 1. Fluxograma de desenvolvimento dos Experimentos.



2.3. Manufatura Aditiva e Engenharia de Materiais

A impressão das peças físicas ocorreu de forma modular e gradual. Para mitigar o desperdício de insumos, a manufatura aditiva só era iniciada após o circuito eletrônico e o código serem validados na etapa 4 do fluxo ágil. Dessa forma, o projeto físico já era

dimensionado com precisão para alocar cabos, motores, sensores e a placa Arduino UNO.

Uma decisão de engenharia fundamental para a longevidade do produto foi a escolha do filamento ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) em detrimento do PLA (Polylactic Acid), material mais comum e de mais fácil manipulação na impressão 3D educacional. Apesar de o PLA ser ideal para protótipos rápidos devido à sua facilidade de uso, ele apresenta uma baixa resistência térmica, sofrendo deformação em temperaturas próximas a 60 °C (Sergio et al., 2024).

Para contornar essa limitação mecânica, optou-se pela utilização do ABS. Conforme apontam Sergio et al. (2024), o ABS é frequentemente empregado em aplicações que demandam maior resistência térmica e impacto, sendo capaz de suportar temperaturas de até 105 °C sem sofrer deformações estruturais. No contexto do ecossistema RoboXperience, essas propriedades mecânicas elevadas são determinantes, uma vez que as peças físicas sofrerão estresse térmico gerado por componentes eletrônicos e desgastes mecânicos sucessivos.

A materialização do fluxo de engenharia, unindo o design virtual à resistência do material físico, pode ser observada na Figura 2, que ilustra o ciclo de desenvolvimento do experimento "Braço Robótico". A Figura 2(a) apresenta a etapa de concepção lógica, com a montagem e simulação prévia do circuito no ambiente *Tinkercad*. Em seguida, a Figura 2(b) exibe a modelagem e renderização paramétrica das peças no *Autodesk Fusion 360*, fase essencial para garantir o rigor das tolerâncias de encaixe dos servomotores e articulações. Por fim, a Figura 2(c) demonstra a consolidação do produto: o protótipo real impresso em filamento ABS, evidenciando a robustez mecânica e o acabamento estético exigidos para o manuseio no laboratório escolar.



Figura 2. Fluxo de engenharia do Braço Robótico: (a) Simulação de circuito no Tinkercad; (b) Renderização paramétrica no Fusion 360; (c) Protótipo físico real finalizado em ABS.

3. Análise de Viabilidade Econômica e Escalabilidade do Ecossistema Maker

Uma vez consolidada a arquitetura técnica do kit, torna-se necessário avaliar sua viabilidade no contexto real das instituições públicas de ensino. A adoção da robótica educacional em larga escala, especialmente em instituições públicas de ensino, enfrenta um gargalo que transcende o simples valor de prateleira dos produtos: o Custo Total de Propriedade (TCO - *Total Cost of Ownership*). O histórico da inserção tecnológica nas escolas demonstra que soluções industriais proprietárias frequentemente se tornam insustentáveis a longo prazo devido a custos ocultos de manutenção e limitações de expansão.

Em contrapartida, a consolidação do ecossistema maker e da fabricação digital promove o que Blikstein (2013) define como a "democratização da invenção". A transição para plataformas de hardware de código aberto e o uso de impressoras 3D permitem a criação de modelos educacionais onde o processo de desenvolvimento é radicalmente transformado e barateado (Blikstein, 2013). Nesse cenário, iniciativas como o RoboXperience deixam de ser apenas produtos isolados e passam a atuar como exemplos práticos de como a cultura *maker* pode viabilizar não apenas a implantação escolar, mas também estimular o desenvolvimento autônomo, permitindo que os estudantes repliquem ou expandam seus projetos em casa com componentes de fácil acesso.

Para validar a viabilidade de mercado dessa abordagem em relação aos padrões industriais consolidados, elaborou-se um comparativo qualitativo focado na natureza dos custos a longo prazo, detalhado na Tabela 2.

Tabela 2. Comparativo Econômico e Estrutural

Critério de Avaliação	Kits Industriais (Proprietários)	Kit Maker (RoboXperience)	Vantagem Econômica
Arquitetura	Ecossistema Fechado.	Open-source (Arduino, impressão 3D).	Liberdade para inovar sem pagar licenças caras.
Custo de Expansão	Requer sensores específicos da marca (alto custo).	Aceita componentes eletrônicos universais.	Sensores novos geralmente tem custos unitários inferiores a R\$ 10,00
Reposição de Peças	Lenta e cara. Depende de importação ou distribuidores oficiais.	Rápida e acessível. Peças estruturais podem ser reimpressas em 3D.	Manutenção barata.
Taxa de Alunos por Kit	Devido ao alto custo, geralmente exige de 4 a 6 alunos dividindo um único robô.	Permite uma relação de 1 a 3 alunos por kit.	Maior tempo de "mão na massa" por aluno pelo mesmo orçamento da escola.

Para sustentar a viabilidade do modelo maker apresentado, a análise econômica fundamenta-se em três pilares argumentativos que desconstruem o modelo tradicional de aquisição escolar:

1. **Proporcionalidade e Escalabilidade:** Em vez de analisar apenas o custo unitário de um robô, deve-se avaliar a métrica de impacto na sala de aula. Estima-se que, com o valor financeiro exigido para a aquisição de apenas um kit de robótica industrial proprietário de ponta, uma instituição de ensino consiga ampliar significativamente um laboratório *maker* com os componentes eletrônicos necessários para a montagem de diversos kits do modelo RoboXperience — ressaltando-se o cenário em que a escola já possua uma impressora 3D em sua infraestrutura. Essa proporção garante que, em vez de aglomerar grandes grupos em torno de um único artefato, a escola consiga fornecer um kit para cada dupla ou trio de alunos, maximizando o tempo de experimentação ativa (Papert, 1980).
2. **Manutenção Sustentável:** A vulnerabilidade crítica do modelo industrial em ambientes escolares é a fragilidade financeira da manutenção. No convívio da

sala de aula, a perda e a quebra de peças por crianças são ocorrências inevitáveis. Em ecossistemas proprietários de alto custo, como o conjunto principal *LEGO Mindstorms Education EV3*, a quebra de um motor específico ou a perda de uma peça estrutural pode inutilizar permanentemente um equipamento que custou milhares de reais, levando-o ao desuso precoce. No ecossistema maker, a substituição de componentes eletrônicos representa um custo de poucos reais ou centavos. Ademais, caso uma peça plástica sofra ruptura, sua reposição estrutural é rapidamente resolvida pela impressão 3D na própria escola, garantindo a sustentabilidade e a sobrevida da ferramenta.

3. **Flexibilidade Tecnológica:** Kits comerciais fechados engessam a criatividade ao conteúdo da caixa. Se um projeto demandar a integração de um sensor de gás ou um módulo Bluetooth, e a marca proprietária não o fabricar, a investigação científica é interrompida. Como alertam Resnick et al. (2000), é necessário superar o uso de "caixas pretas" fechadas para devolver a transparência à investigação. O uso da plataforma Arduino em projetos como o RoboXperience garante total flexibilidade; qualquer componente universal de prateleira pode ser integrado. Esse paradigma barateia a evolução contínua das disciplinas, permitindo que a escola atualize seus laboratórios e que o aluno expanda seus projetos sem a necessidade de recomprar plataformas inteiras.

4. Validação Prática e Implementação

Para comprovar que a redução de custos estruturais não comprometeu a eficácia pedagógica e a usabilidade mecânica do produto, o kit foi submetido a um processo de validação piloto exploratória. A implementação do hardware ocorreu entre os meses de agosto e setembro de 2024, nas instalações da Fábrica de Inovação do Instituto Federal do Maranhão (IFMA) – Campus Imperatriz. O cronograma foi estruturado em dois encontros semanais no período vespertino, totalizando 17 sessões práticas com uma turma experimental composta por 15 alunos oriundos de diferentes cursos de nível técnico e superior. Durante o período de validação, foram testados integralmente os 17 experimentos que compõem os três módulos do ecossistema. A progressão permitiu que os estudantes evoluíssem desde a montagem de circuitos básicos no Módulo 1, até a integração de sistemas robóticos complexos no Módulo 3.

A fim de simular o ambiente colaborativo e interdisciplinar exigido pela cultura *maker*, os estudantes foram divididos em cinco equipes de três integrantes. Durante a montagem dos experimentos, os participantes assumiam papéis rotativos essenciais para a validação do produto: o Líder (responsável pela gestão de tarefas), o Programador (encarregado da lógica no Arduino) e o Montador (responsável pelo manuseio físico dos componentes e das peças em ABS). Essa dinâmica corroborou a literatura da área, que aponta que a robótica educacional traz um forte apelo de interação, fazendo com que o estudante aprenda a trabalhar em grupo e desenvolva processos fundamentais de cooperação e colaboração entre os pares (Chitolina et al., 2016).

Os resultados da implementação evidenciaram a maturidade do protótipo como uma ferramenta educacional viável. Os dados foram coletados por meio de formulários de avaliação contendo questões fechadas de percepção e campos para relatos qualitativos. A análise das respostas indicou que os discentes classificaram o hardware como "intuitivo, interativo e acessível" (Pinheiro et al., 2025). Os relatos ressaltaram

que a materialização do conhecimento foi decisiva: sem a presença física dos kits, a compreensão das lógicas de programação seria excessivamente abstrata. Esse impacto valida a premissa de que a robótica permite aos alunos articularem teoria e prática de forma significativa (Chitolina et al., 2016), além de possibilitar a experimentação física de conceitos abstratos que simulam o mundo real (Zilli, 2004).

Por fim, a validação empírica demonstrou a eficácia da arquitetura modular do produto. A divisão do ecossistema em níveis progressivos de dificuldade permitiu uma adaptação fluida das aulas às necessidades específicas da turma, comprovando que o modelo aberto idealizado facilita sua aplicação em diferentes contextos e perfis de público (Pinheiro et al., 2025). Essa etapa atesta, em consonância com as premissas de desenvolvimento de Produto Viável Mínimo (MVP) de testar a aceitação real do mercado mitigando riscos precoces (Ries, 2011), que a substituição de plataformas industriais fechadas por um ecossistema *maker* aberto é plenamente alcançável. Contudo, inerente a este estágio inicial de validação do MVP, o estudo apresenta limitações que devem ser consideradas: o número reduzido de participantes em um contexto único de aplicação restringe a generalização imediata dos resultados, enquanto a ausência de um ensaio longitudinal impossibilita mensurar a retenção do aprendizado tecnológico a longo prazo. Soma-se a isso a dependência de uma infraestrutura *maker* básica prévia nas escolas (como o acesso a impressoras 3D), desafios estruturais que servirão de base para nortear os trabalhos futuros e a escalabilidade da solução.

5. Considerações Finais

O presente artigo relatou a evolução "do protótipo ao produto" do ecossistema RoboXperience, evidenciando a viabilidade técnica e mercadológica de se superar as barreiras financeiras impostas pelas soluções educacionais comerciais fechadas. A adoção de metodologias ágeis (Scrum) no fluxo de desenvolvimento, aliada à manufatura aditiva com filamento ABS e ao uso da plataforma de hardware livre Arduino, permitiu a consolidação de 17 experimentos modulares de durabilidade potencial. Essa estruturação técnica valida na prática o conceito de "democratização da invenção" defendido por Blikstein (2013), comprovando que espaços *makers* podem desenvolver produtos que ampliam significativamente a capacidade de implantação de atividades práticas com o orçamento equivalente ao de um único kit proprietário. Ademais, a facilidade de fabricação e reposição de peças resolve o alto Custo Total de Propriedade (TCO) que frequentemente leva tecnologias escolares tradicionais à obsolescência precoce.

Como perspectivas e trabalhos futuros, em consonância com as premissas de teste e adaptação contínua de um Produto Viável Mínimo no mercado (Ries, 2011), planeja-se a implantação do ecossistema em outras instituições da rede pública de ensino, ampliando a amostra de estudantes e o tempo de avaliação. O objetivo é superar as limitações desta validação inicial, analisando longitudinalmente o impacto da ferramenta no apoio direto às diretrizes da educação STEAM (Custodio; Rosa, 2024) em diferentes contextos socioeconômicos. Dessa forma, espera-se consolidar o RoboXperience não apenas como uma alternativa de baixo custo, mas como um vetor de inovação aberta capaz de promover a inclusão sociodigital sustentável e a democratização do conhecimento tecnológico.

6. Referências

- Blikstein, P. (2013) “Digital Fabrication and ‘Making’ in Education: The Democratization of Invention”, In: *FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors*, Edited by Julia Walter-Herrmann and Corinne Büching, Transcript Publishers, Bielefeld, pp. 1-21.
- Blikstein, P., Valente, J. A. and Moura, É. M. (2020) “Educação maker: onde está o currículo?”, *Revista e-Curriculum*, v. 18, n. 2, pp. 523-544.
- Brasil. Ministério da Educação. (2018) “Base Nacional Comum Curricular (BNCC)”, Brasília. [Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf].
- Brasil. Ministério da Educação. (2022) “Computação - Complemento à BNCC”, Distrito Federal. [Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/escolas-conectadas/BNCCComputaoCompletoDiagramado.pdf>].
- Chitolina, R. F., Noronha, F. P. T. and Backes, L. (2016) “A Robótica Educacional como tecnologia potencializadora da aprendizagem: das ciências da natureza às ciências da computação”, *Educação, Formação & Tecnologias*, v. 9, n. 2, pp. 56-65.
- Cohn, M. (2011) “Desenvolvimento de Software com Scrum: Aplicando Métodos Ágeis com Sucesso”.
- Custodio, S. V. F. and Rosa, T. A. (2024) “Educação STEAM: conceito, breve histórico, diretrizes e prática”, *Dialogia*, n. 50, e27419.
- Felisardo, R. J. A., Santos, G. N. and Galvão, D. G. (2023) “Uso do Arduino como ferramenta de prototipagem para desenvolvimento de dispositivos automáticos: uma revisão”, *Ciências exatas e tecnológicas*, Aracaju, v. 8, n. 1, pp. 11-26.
- McRoberts, M. (2011) “*Arduíno Básico*”, Novatec Editora, São Paulo.
- Papert, S. (1980) “*Mindstorms: computers, children and powerful ideas*”, Basic Books, New York.
- Pinheiro, P. L. Q., Santos, V. H. M., Silva, L. E. S. da, Silva, G. G. S., Vieira, A. J. D., Duarte, B., Ferreira, D. S. and Costa, D. D. (2025) “RoboXperience: Inovação, desafios e oportunidades da robótica educacional”, *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 18, n. 10, e21259. DOI: 10.55905/revconv.18n.10-04.
- Ries, E. (2011) “*Startup Enxuta. Como os Empreendedores Atuais Utilizam a Inovação Contínua para Criar Empresas Extremamente Bem-Sucedidas*”, São Paulo.
- Resnick, M., Berg, R. and Eisenberg, M. (2000) “Beyond black boxes: bringing transparency and aesthetics back to scientific investigation”, *Journal of the Learning Sciences*, v. 9, n. 1, pp. 7-30.
- Sergio, B. C. S., Melo, L. S. G., Segundo, M. A. S. N., Souza, Y. N. and Silva, E. V. (2024) “Análise Comparativa dos Filamentos PLA, ABS e PETG na Impressão 3D: Propriedades e Aplicações em Setores que Demandam Avanços Tecnológicos”, In: *VIII Congresso Internacional de Gestão e Tecnologias*.
- Zilli, S. R. (2004) “A robótica educacional no ensino fundamental: Perspectivas e práticas”, *Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção*, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.