

KITS DE ROBÓTICA, A SEREM UTILIZADOS POR ALUNOS DO ENSINO FUNDAMENTAL/MÉDIO, CONSTRUÍDOS COM PEÇAS CONFECCIONADAS EMPREGANDO-SE IMPRESSÃO 3D

Mattheus Salum Rossi¹; Guilherme Soares Ribeiro¹; Marcelo Lucas ¹; Cleiton Silvano Goular¹; Welington Mrad Joaquim¹

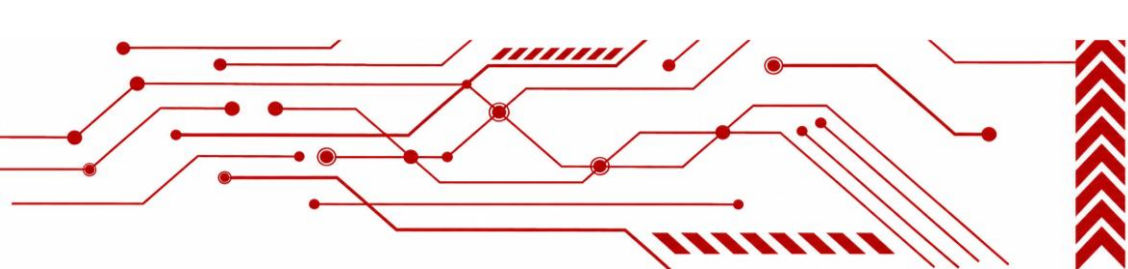
¹Universidade de Uberaba - Uniube, Brasil

Autor Correspondente: gsoaresrb@edu.uniube.br

DOI: <https://doi.org/10.31496/retii.v3i1.XXXX>

RESUMO

A integração entre impressão 3D e robótica educacional tem sido apontada como estratégia para ampliar a aprendizagem ativa em *STEM (Science Technology Engineering and Mathematics)*, porém ainda enfrenta desafios de custo, infraestrutura e formação docente. Este estudo teve como objetivo propor e descrever um processo de desenvolvimento de kits de robótica construídos com peças confeccionadas por impressão 3D, visando aplicação futura com estudantes do Ensino Fundamental e Médio. A pesquisa foi conduzida no contexto de um projeto PIBITI (agosto/2023 a julho/2025), organizada em duas etapas: (i) levantamento e análise de literatura e de requisitos técnicos para impressão 3D e montagem de kits; e (ii) construção, programação e elaboração de roteiros de atividades para uso pedagógico. Na etapa exploratória, priorizou-se a identificação do estado da arte, o estudo de softwares de modelagem e fatiamento e a análise de materiais de impressão. Na etapa aplicada, foi produzido um protótipo funcional integrando peças em PLA, componentes eletrônicos e automação via microcontrolador, além de documentação inicial de montagem. Adicionalmente, foram definidos parâmetros de impressão e critérios mínimos de controle de qualidade (ex.: tolerâncias e teste de rosca M3 no PLA), bem como estimativas de custo dos principais componentes. Como contribuição, o trabalho organiza um delineamento replicável para fabricação de kits de baixo custo com impressão 3D, destacando pontos críticos (qualidade dimensional,



escolha de material e suporte ao professor). Como limitação, a aplicação em escola parceira não foi executada no período, em função de intercorrências na infraestrutura de impressão 3D, permanecendo como etapa a ser conduzida em trabalhos posteriores.

Palavras-chave: robótica educacional; impressão 3D; cultura maker.

ABSTRACT

The integration of 3D printing and educational robotics has been identified as a strategy to enhance active learning in STEM (Science Technology Engineering and Mathematics); however, it still faces challenges related to cost, infrastructure, and teacher training. This study aimed to propose and describe a development process for robotics kits built with 3D-printed parts, targeting future use with middle and high school students. The research was conducted within a PIBITI project (August 2023 to July 2025) and was organized into two stages: (i) a literature review and technical requirements analysis for 3D printing and kit assembly; and (ii) construction, programming, and the development of activity guides for pedagogical use. In the exploratory stage, efforts focused on mapping the state of the art, studying modeling and slicing software, and analyzing printing materials. In the applied stage, functional prototypes were produced by integrating PLA parts, electronic components, and microcontroller-based automation, along with initial assembly documentation. In addition, printing parameters and minimum quality-control criteria were defined (e.g., dimensional tolerances and an M3 thread test in PLA), as well as cost estimates for the main components. As a contribution, the study outlines a replicable framework for manufacturing low-cost 3D-printed robotics kits, highlighting critical aspects such as dimensional quality, material selection, and teacher support. As a limitation, deployment in a partner school was not carried out within the project period due to disruptions in the 3D-printing infrastructure, remaining as a task for future work.

Keywords: educational robotics; 3D printing; maker culture.

1 INTRODUÇÃO

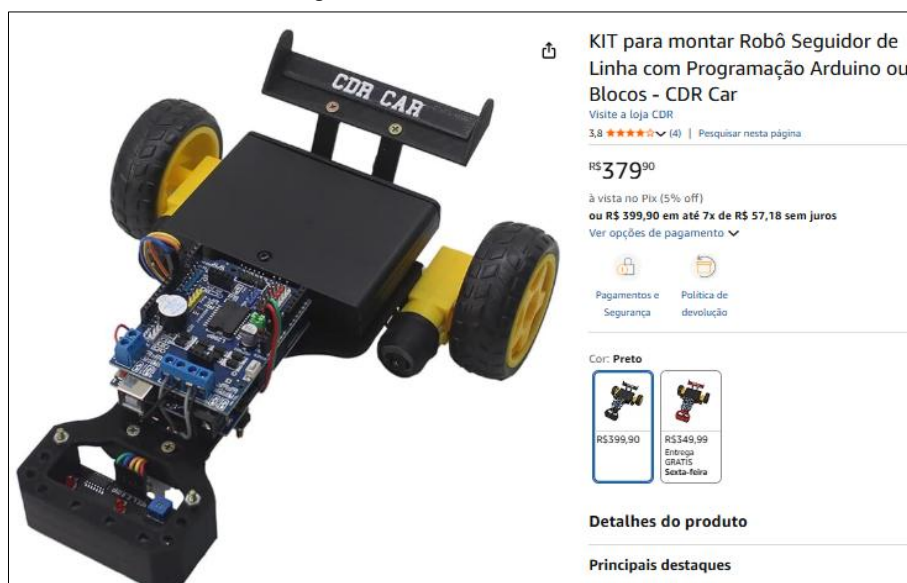
A ampliação de metodologias ativas e da cultura *maker* na educação básica tem fortalecido propostas centradas no “aprender fazendo”, com ênfase em projetos que integram programação, eletrônica e construção do protótipo. Nesse contexto, a robótica educacional destaca-se como ferramenta multidisciplinar capaz de apoiar o ensino de Ciências e Matemática, ao estimular raciocínio lógico, criatividade e trabalho colaborativo, sobretudo quando o estudante reconhece a necessidade de aplicar conceitos abstratos na resolução de problemas concretos (Souza *et al.*, 2014). Entretanto, a adoção sustentável da robótica em redes públicas ainda enfrenta barreiras recorrentes, como alto custo de kits, dependência de infraestrutura e necessidade de capacitação



docente, fatores que podem comprometer continuidade, manutenção e integração curricular dessas ações (Souza *et al.*, 2014).

Como referência de solução comercial, a Figura 1 apresenta um exemplo de kit de carro robótico disponível no mercado. A inserção dessa figura tem caráter ilustrativo, evidenciando a lógica predominante de aquisição de kits prontos e reforçando a motivação para investigar alternativas de fabricação local e customização que reduzam dependência de fornecedores e facilitem reposição de componentes.

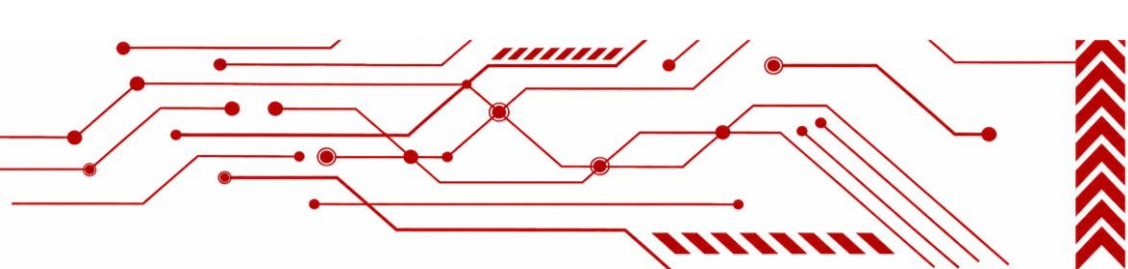
Figura 1 – Kit Carro Robótico



Fonte: Amazon, 2025.

Paralelamente, a impressão 3D (manufatura aditiva) vem sendo incorporada ao campo educacional por possibilitar a produção local e personalizada de peças e materiais didáticos, ampliando as possibilidades de prototipagem e o acesso a práticas de inovação. No entanto, embora haja evidências sobre seu potencial em *STEM*, a literatura também aponta entraves relevantes relacionados à padronização de processos, à escolha de parâmetros de impressão e ao domínio técnico necessário para que professores e instituições mantenham resultados consistentes ao longo do tempo (Kuhlmann *et al.*, 2018). No contexto brasileiro, iniciativas *maker* em escolas relatam aumento de engajamento e aprendizagem ativa quando tecnologias como robótica, impressão 3D e automação são apresentadas de forma prática e contextualizada, com atividades orientadas por desafios e por ciclos iterativos de melhoria (Castro *et al.*, 2025). Além disso, propostas baseadas em Arduino e em kits acessíveis têm sido apresentadas como caminhos para democratizar experiências práticas em robótica (Souza *et al.*, 2014; Alves *et al.*, 2023).

Apesar do avanço dessas iniciativas, permanece uma lacuna aplicada importante: como estruturar um processo tecnicamente consistente e replicável



para o desenvolvimento de kits de robótica com peças impressas em 3D, de modo que outras instituições possam reproduzir a solução com qualidade dimensional aceitável, montagem previsível e documentação suficiente para uso educacional. Em particular, muitos projetos de robótica educacional descrevem os resultados finais, mas nem sempre sistematizam um fluxo completo que integre: (i) definição de requisitos e seleção de componentes; (ii) modelagem e impressão 3D com parâmetros minimamente padronizados; (iii) integração eletromecânica e programação; e (iv) materiais de suporte ao professor (roteiros, guias e checklists) para aplicação em turmas do Ensino Fundamental e Médio.

Diante disso, este estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: como planejar e desenvolver kits de robótica educacional, utilizando impressão 3D para confeccionar peças estruturais (bases, suportes e chassi), de modo a viabilizar sua aplicação em atividades didáticas com alunos do Ensino Fundamental e Médio?

Os resultados desta pesquisa são direcionados a:

- orientar a confecção e montagem do protótipo do carro robótico;
- subsidiar a elaboração de roteiros e guias de práticas para professores e estudantes;
- apoiar a aplicação futura em escola parceira, com ciclos de melhoria baseados em *feedback* docente, conforme o planejamento do projeto.

Assim, o objetivo principal deste trabalho é propor e descrever um processo de desenvolvimento de kits de robótica educacional com peças confeccionadas por impressão 3D, visando à utilização em atividades de ensino no Ensino Fundamental e Médio. Para atingir essa finalidade, a pesquisa abrange etapas de identificação e elaboração do kit alinhado à realidade escolar, análise e prototipagem em laboratório (incluindo modelagem, impressão, montagem e programação) e estruturação de documentação pedagógica, de modo a criar um conjunto que possa ser replicado e aprimorado em aplicações posteriores.

Como contribuição, o artigo sistematiza um fluxo de desenvolvimento com foco em replicabilidade para kits de robótica educacional fabricados com impressão 3D, abrangendo a definição de requisitos, a modelagem e a fabricação de componentes estruturais, a integração eletromecânica e a programação via microcontrolador. Adicionalmente, são disponibilizados elementos de suporte à reprodução e à adoção pedagógica do kit, incluindo a descrição do protótipo-alvo, a documentação do modelo digital/peças estruturais, a composição de materiais e estimativa de custos, bem como roteiros e orientações iniciais para uso em atividades no Ensino Fundamental e Médio.

Revisões sistemáticas e sínteses recentes apontam potencial da impressão 3D em contextos *STEM*, mas indicam limitações relacionadas à padronização de processos e à implementação escolar, reforçando a necessidade de propostas replicáveis com documentação técnica e pedagógica.” (citando Kuhlmann *et al.*, 2018; Ford; Minshall, 2021).



2 REFERENCIAL TEÓRICO

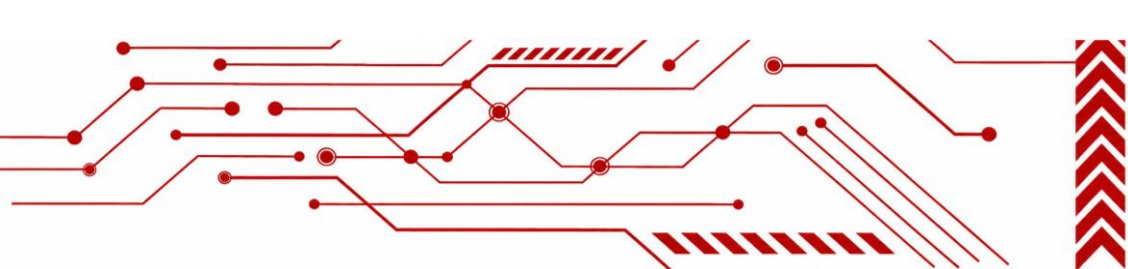
2.1 Robótica educacional e aprendizagem ativa no EF/EM

A robótica educacional é frequentemente apresentada na literatura como um recurso didático com potencial para integrar conteúdos de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (*STEM*), ao favorecer experiências de aprendizagem prática, iterativa e orientada a projetos. Em abordagens construcionistas, a aprendizagem tende a ser favorecida quando estudantes constroem artefatos compartilháveis, explicitam decisões e revisam soluções a partir de tentativa e erro. Papert formulou o construcionismo como extensão do construtivismo, argumentando que aprender pode ser potencializado quando o sujeito se engaja na construção de um objeto significativo, que possa ser discutido, testado e aprimorado (Papert, 1980; Papert, 1993). Nessa perspectiva, projetos com robótica podem oferecer um ambiente para que o estudante externalize ideias por meio de programação e montagem, tornando o raciocínio mais observável e passível de refinamento (Papert, 1980).

Do ponto de vista pedagógico, tais ganhos são mais plausíveis quando a robótica é tratada como meio para investigação e criação, e não como mera execução de instruções de montagem. Resnick, Bruckman e Martin defendem “*computational construction kits*” como instrumentos para que crianças e jovens aprendam computação produzindo e experimentando, e não apenas consumindo tecnologia, destacando o valor educacional de materiais que possibilitam reconfiguração rápida de ideias (Resnick; Bruckman; Martin, 1996). Complementarmente, Resnick distingue acesso de fluência, sugerindo que a escola deve promover condições para que estudantes desenvolvam capacidade de criar com tecnologias digitais, o que reforça a pertinência de ambientes com prototipagem, programação e iteração (Resnick, 2001). Assim, a robótica pode favorecer processos de depuração, revisão de estratégias e argumentação sobre decisões de projeto, desde que acompanhada de mediação docente e objetivos didáticos explícitos (Papert, 1993; Resnick, 2001).

Em termos de aplicação no Ensino Médio, estudos com uso de kits de robótica como atividades práticas apontam potencial para engajamento, contextualização e organização de experiências experimentais, ainda que os resultados dependam de planejamento, condições de implementação e mediação docente (Alves *et al.*, 2023). Dessa forma, a eficácia educacional da robótica tende a ser maior quando o kit e as atividades são concebidos para promover autoria, investigação e integração com conteúdos curriculares, e não apenas a obtenção de um “produto final” funcional.

Entretanto, a adoção sustentável de robótica educacional em escolas pode enfrentar barreiras recorrentes, como custos de aquisição e manutenção, dependência de infraestrutura e necessidade de formação docente para integrar projetos ao currículo e avaliar aprendizagens para além do artefato construído.



Revisões sobre *maker education* indicam que iniciativas baseadas em construção e fabricação exigem condições institucionais e intencionalidade pedagógica, sob risco de se reduzirem a ações pontuais com baixa continuidade (Halverson; Sheridan, 2014; Blikstein, 2018). Nessa linha, a consolidação de projetos de robótica tende a depender de planejamento didático, materiais de apoio e desenho de implementação que favoreça autonomia escolar e reduza dependência de atores externos (Resnick, 2001; Halverson; Sheridan, 2014).

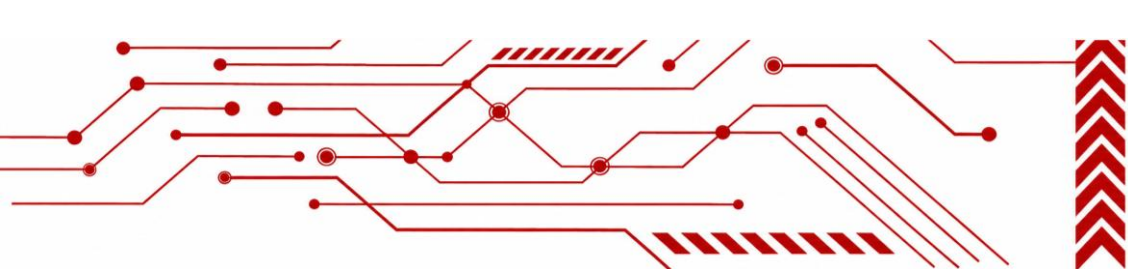
Síntese crítica (lacunas e limites). Embora a literatura ofereça base teórica consistente para justificar a robótica como ambiente de aprendizagem ativa, há heterogeneidade de contextos, objetivos e instrumentos de avaliação. Em particular, resultados educacionais podem variar conforme formação docente, desenho das tarefas, tempo disponível e infraestrutura, o que recomenda cautela em generalizações. Assim, trabalhos aplicados ganham robustez quando explicitam: (i) objetivos de aprendizagem, (ii) procedimentos de implementação, (iii) critérios de avaliação e (iv) evidências empíricas coerentes com tais objetivos (Blikstein, 2018; Halverson; Sheridan, 2014).

2.2 Impressão 3D como tecnologia habilitadora de kits personalizados e de baixo custo

A impressão 3D, também denominada manufatura aditiva, corresponde a um conjunto de processos que produzem objetos tridimensionais a partir de modelos digitais, em geral por deposição de material em camadas. A literatura técnica descreve a tecnologia como aplicável à prototipagem e à fabricação direta, destacando que o desempenho e a qualidade dependem de parâmetros de processo, seleção de materiais e controle de qualidade dimensional e funcional (Gibson; Rosen; Stucker, 2015). Em cenários educacionais, a impressão 3D é frequentemente associada à possibilidade de produzir localmente componentes e peças sob demanda, o que pode reduzir dependência de fornecedores e ampliar autonomia técnica de projetos (Gibson; Rosen; Stucker, 2015).

Quando articulada à robótica educacional, a impressão 3D pode contribuir para viabilizar kits mais acessíveis e adaptáveis, pois componentes mecânicos (bases, suportes, carcaças e adaptadores) podem ser desenhados em CAD e fabricados conforme necessidades do protótipo. Contudo, para que a impressão 3D opere como estratégia de sustentabilidade (e não como fonte de variabilidade), recomenda-se registrar parâmetros e padronizar minimamente o fluxo CAD → fatiamento → impressão, visto que variações de configuração podem gerar inconsistências dimensionais e falhas de encaixe, impactando confiabilidade e segurança do sistema (Gibson; Rosen; Stucker, 2015). Relatórios setoriais sobre manufatura aditiva descrevem expansão de aplicações e difusão tecnológica, mas também apontam a necessidade de maturidade de processos e boas práticas, especialmente em contextos com limitações de manutenção e reposição (Wohlers, 2020).





Do ponto de vista pedagógico, a impressão 3D pode ser tratada não apenas como meio de fabricação, mas como parte do processo de aprendizagem, pois permite que estudantes transitem entre representações digitais e restrições físicas (tolerâncias, resistência e montagem), aproximando-se de práticas de engenharia e design iterativo. Uma revisão sobre impressão 3D como tecnologia educacional sistematiza perspectivas teóricas, resultados de aprendizagem e recomendações para a prática, enfatizando que benefícios potenciais (visualização concreta, aprendizagem baseada em projetos e competências de design) dependem de infraestrutura, formação e integração curricular para evitar uso superficial (Ford; Minshall, 2021). Portanto, em projetos de robótica, a impressão 3D tende a produzir maior valor educacional quando incorporada a um processo documentado e replicável, com objetivos didáticos explícitos e critérios técnicos de qualidade (Ford; Minshall, 2021; Gibson; Rosen; Stucker, 2015).

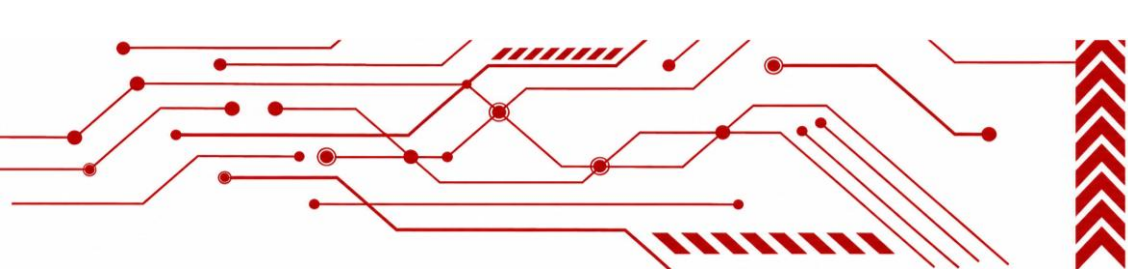
Síntese crítica (lacunas e limites). Embora a impressão 3D seja frequentemente descrita como tecnologia habilitadora para prototipagem e produção local, evidências educacionais podem variar conforme contexto, competência técnica disponível e integração curricular. Além disso, ganhos de “baixo custo” não são automáticos: dependem de custo de insumos, taxa de falhas, tempo de máquina e manutenção. Assim, estudos aplicados devem reportar parâmetros, custos e critérios de qualidade, para que a proposta seja replicável e comparável (Ford; Minshall, 2021; Wohlers, 2020).

2.3 Cultura *maker*, formação docente e sustentabilidade de projetos nas escolas

A cultura *maker*, frequentemente sintetizada pela ideia de “aprender fazendo”, tem sido associada a ambientes que valorizam experimentação, autoria e colaboração, nos quais o estudante se torna agente ativo ao construir artefatos e revisar soluções em ciclos. Essa abordagem dialoga com a educação experiencial: Dewey argumenta que educação e experiência se articulam e que a qualidade da experiência é decisiva, exigindo intencionalidade pedagógica para promover continuidade e crescimento (Dewey, 1938). Nessa perspectiva, espaços *maker* e projetos com tecnologia (robótica, programação e fabricação digital) podem constituir ambientes de experiência estruturada quando organizados para estimular investigação, reflexão e reconstrução de significados (Dewey, 1938; Papert, 1993).

Entretanto, a implementação efetiva de práticas *maker* em escolas tende a depender de condições institucionais (infraestrutura, tempo pedagógico e suporte técnico) e de formação docente para conduzir projetos interdisciplinares, mediar processos de investigação e avaliar aprendizagem em contextos de produção. Halverson e Sheridan discutem o *Maker Movement in Education* e argumentam que a educação *maker* envolve práticas, comunidades e identidades, e que sua integração escolar levanta desafios de organização





curricular, avaliação e equidade de acesso (Halverson; Sheridan, 2014). De modo convergente, Blikstein ressalta que a fabricação digital pode ser “fetichizada” quando não há mudança pedagógica e cultural, o que pode resultar em subutilização de equipamentos e baixa integração curricular (Blikstein, 2018). Portanto, inserir impressoras 3D e kits de robótica sem plano de formação e sem objetivos pedagógicos explícitos pode limitar impacto e sustentabilidade.

Para aumentar sustentabilidade, projetos *maker* com robótica e impressão 3D podem demandar: (i) capacitação continuada de professores; (ii) materiais didáticos de suporte (roteiros, checklists, vídeos); e (iii) estratégias para reduzir custos operacionais e facilitar manutenção. Obras voltadas à prática pedagógica em K–12 enfatizam que o foco deve ser a aprendizagem por projeto e a engenharia “mão na massa”, com documentação e organização didática que suportem replicabilidade e adaptação (Martinez; Stager, 2013). Além disso, a distinção entre acesso e fluência sugere que a escola deve estruturar condições para que alunos criem com tecnologia, o que amplia a necessidade de mediação, planejamento e avaliação formativa (Resnick, 2001; Dewey, 1938). Assim, cultura *maker* na escola deve ser compreendida como combinação de tecnologia, formação e processos de implementação, visando continuidade e apropriação pela comunidade escolar (Halverson; Sheridan, 2014; Blikstein, 2018).

Síntese crítica (lacunas e limites). A literatura sobre *maker education* reconhece potencial formativo, mas aponta desafios de implementação, especialmente em equidade de acesso e avaliação. Além disso, a própria definição de “sucesso” pode variar (engajamento, domínio conceitual, habilidades socioemocionais e autoria), exigindo escolhas metodológicas e instrumentos coerentes. Assim, estudos aplicados devem explicitar modelo de avaliação e discutir limitações contextuais (Halverson; Sheridan, 2014; Blikstein, 2018).

2.4 Síntese e posicionamento do trabalho na literatura

Em síntese, a literatura sustenta o potencial da robótica e da cultura *maker* para aprendizagem ativa, desde que as atividades sejam intencionalmente desenhadas para promover autoria, investigação, iteração e reflexão (Papert, 1993; Resnick, 2001; Dewey, 1938). Ao mesmo tempo, estudos apontam limitações práticas e institucionais relacionadas à infraestrutura, formação docente, organização curricular e continuidade, o que reforça a necessidade de materiais de apoio e de estratégias de implementação sustentáveis (Halverson; Sheridan, 2014; Blikstein, 2018). A impressão 3D pode ampliar autonomia e personalização na construção de kits, mas introduz variabilidade técnica que demanda padronização mínima, registro de parâmetros e critérios de qualidade para garantir montagem, manutenção e segurança em ambiente escolar (Gibson; Rosen; Stucker, 2015; Ford; Minshall, 2021).



Conforme sintetizado no Quadro 1, este trabalho se posiciona na interseção entre fundamentos pedagógicos e requisitos técnicos, propondo um processo replicável de desenvolvimento de kits e documentação de suporte voltados à futura aplicação no Ensino Fundamental e no Ensino Médio.

Quadro 1 – Síntese do referencial e implicações para o projeto

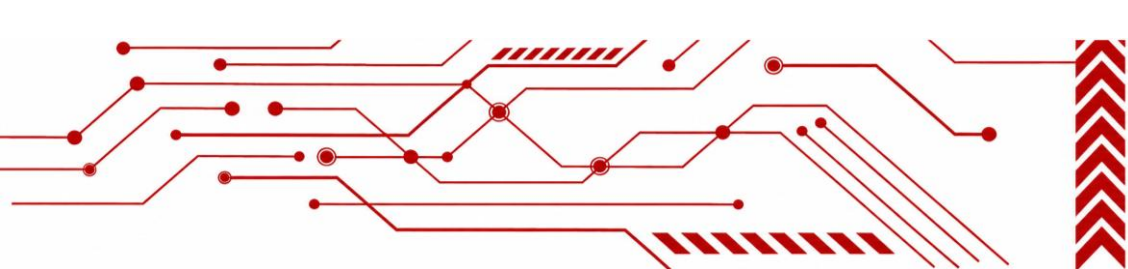
Eixo do referencial	Implicação para o projeto (kit + materiais)
Construcionismo / aprendizagem pela construção (Papert, 1980; 1993)	Atividades com ciclo construir–testar–iterar e foco no processo
Fluência e kits reconfiguráveis (Resnick, 2001; Resnick; Bruckman; Martin, 1996)	Modularidade do kit + progressão de desafios e autoria
Maker education e sustentabilidade (Halverson; Sheridan, 2014; Blikstein, 2018)	Materiais de apoio ao professor + integração curricular + continuidade
Impressão 3D: parâmetros e qualidade (Gibson; Rosen; Stucker, 2015; Ford; Minshall, 2021)	Padronização CAD →slicer→impressão + critérios mínimos de encaixe/qualidade
Viabilidade prática/custos (Wohlers, 2020)	Registro de custos/insumos + orientações de manutenção e reposição

Fonte: Autores, 2025.

2.5 Replicabilidade, documentação técnica e critérios mínimos de qualidade

Em projetos educacionais baseados em fabricação e prototipagem, a noção de replicabilidade não se restringe a “reproduzir o mesmo objeto”, mas envolve assegurar que diferentes escolas ou grupos consigam obter resultados funcionais e seguros com variação controlada de materiais, equipamentos e experiência técnica. No caso de kits de robótica com peças impressas em 3D, a replicabilidade depende da padronização do fluxo *CAD* → fatiamento → impressão e do registro de decisões técnicas que afetam diretamente a montagem e o desempenho (Gibson; Rosen; Stucker, 2015). Assim, a documentação deixa de ser um apêndice e passa a constituir parte essencial do produto educacional, ao reduzir dependência de conhecimento tácito e aumentar a autonomia de professores e estudantes.

A literatura sobre impressão 3D destaca que parâmetros como altura de camada, densidade de preenchimento, espessura de paredes, temperatura, velocidade e orientação de impressão podem impactar resistência mecânica,



qualidade dimensional e estabilidade de encaixes (Gibson; Rosen; Stucker, 2015). Em contextos escolares, em que a manutenção e a reposição de peças precisam ser viáveis, torna-se recomendável definir critérios mínimos de qualidade, tais como: (i) tolerâncias dimensionais aceitáveis para encaixes e furações; (ii) pontos de fixação padronizados; (iii) testes simples de validação (ex.: encaixe, alinhamento, resistência em pontos críticos); e (iv) diretrizes para reimpressão e reposição. Essas medidas contribuem para transformar a impressão 3D em estratégia de sustentabilidade, e não em fonte de variabilidade que inviabilize a continuidade do projeto.

Do ponto de vista pedagógico, a documentação também apoia a mediação docente ao orientar a condução de atividades que promovam autoria e fluência tecnológica (Resnick, 2001), evitando que a tecnologia seja empregada de modo superficial ou “fetichizado” (Blikstein, 2018). Portanto, em iniciativas *maker* com robótica e impressão 3D, recomenda-se que a proposta inclua, além do protótipo, um conjunto de artefatos de suporte (guias de montagem, lista de materiais, parâmetros de impressão, roteiros e checklists), favorecendo implementação, manutenção e adaptação às condições locais (Halverson; Sheridan, 2014; Ford; Minshall, 2021).

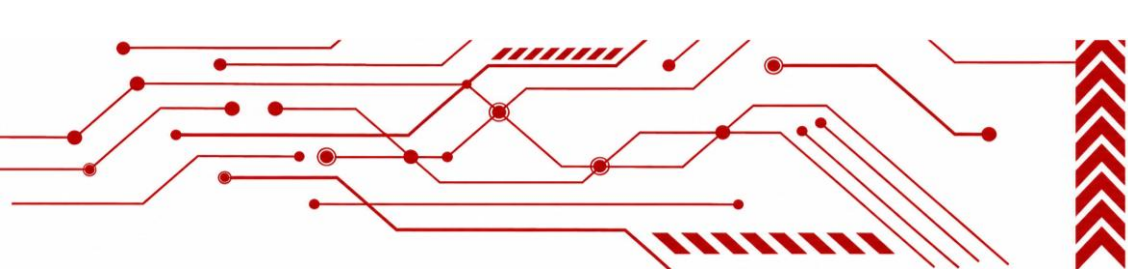
2.6 Estrutura didática e avaliação formativa em projetos com kits

Projetos de robótica e cultura *maker* frequentemente envolvem produtos tangíveis (protótipos), mas a aprendizagem relevante ocorre no processo de investigação, tomada de decisão, depuração e revisão. Por isso, abordagens alinhadas à aprendizagem ativa tendem a se beneficiar de instrumentos de avaliação formativa, capazes de evidenciar não apenas “se funcionou”, mas como o estudante raciocinou, testou hipóteses, interpretou falhas e ajustou soluções (Papert, 1993; Dewey, 1938). Nessa direção, materiais de apoio bem estruturados podem orientar o professor a observar e registrar evidências de aprendizagem, reduzindo a centralidade do produto final como único critério.

A distinção entre acesso e fluência reforça que o desenvolvimento de competências tecnológicas envolve criação, comunicação e iteração, e não apenas uso operacional (Resnick, 2001). Assim, roteiros de atividades para kits de robótica podem ser organizados por níveis de complexidade, duração e objetivos (por exemplo: controle de motores, leitura de sensores, lógica de decisão e depuração de código), incluindo checkpoints de teste e perguntas-guia de reflexão. Além disso, revisões sobre *maker education* e fabricação digital apontam desafios de avaliação e integração curricular (Halverson; Sheridan, 2014; Blikstein, 2018), o que reforça a utilidade de instrumentos simples e replicáveis, como rubricas, checklists de montagem/programação e registros curtos de “o que foi testado e o que mudou”.

Em síntese, uma proposta de kit educacional torna-se mais consistente quando acompanha orientações de implementação didática e avaliação





formativa, garantindo que a tecnologia seja meio para aprendizagem e não fim em si mesma (Blikstein, 2018; Halverson; Sheridan, 2014). Essa organização também favorece sustentabilidade, pois ajuda professores a planejar tempo, recursos e critérios de acompanhamento em diferentes turmas e realidades.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção descreve o tipo de estudo, o contexto de realização, os materiais e os procedimentos adotados no desenvolvimento do protótipo do carro robótico com peças confeccionadas por impressão 3D. A descrição foi organizada para favorecer clareza, rastreabilidade e reprodutibilidade do processo, contemplando as unidades analisadas e os critérios de controle de qualidade empregados.

3.1 Tipo de Estudo e Delineamento

Trata-se de um estudo de desenvolvimento tecnológico e inovação, vinculado a um projeto de iniciação científica tecnológica (PIBITI), com foco na concepção, prototipagem e validação pedagógica planejada de kits de robótica educacional baseados em impressão 3D. O delineamento metodológico foi estruturado em dois macroestágios sequenciais:

Fase exploratória: levantamento bibliográfico e análise técnica para definição de requisitos do projeto;

Fase aplicada: modelagem, impressão, montagem e programação do protótipo, além da elaboração de materiais de suporte (documentação e roteiros) para uso em contexto escolar.

3.2 Contexto institucional e locais de realização

A pesquisa foi desenvolvida na Universidade de Uberaba (UNIUBE), em ambiente de laboratório, utilizando infraestrutura institucional de impressão 3D e eletrônica básica para fabricação e testes do protótipo. A validação pedagógica foi planejada para ocorrer em uma instituição de educação básica, em parceria com a rede local, envolvendo turmas do Ensino Fundamental e do Ensino Médio, condicionada à disponibilidade de infraestrutura, cronograma e anuência institucional.



3.3 Materiais, componentes e protótipo

Foi definido um protótipo-alvo: um carro robótico de baixo custo, onde as partes estruturais (bases, suportes, elos e chassi) foram produzidas por impressão 3D, adotando-se PLA como material padrão, em razão de sua disponibilidade, facilidade de impressão e custo.

Componentes e materiais utilizados:

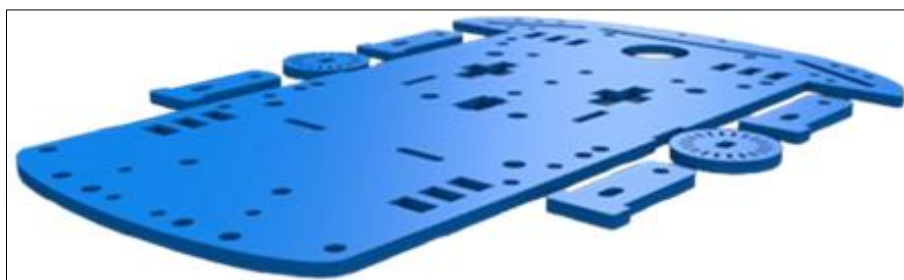
- peças estruturais impressas em 3D (PLA);
- placa microcontroladora compatível com a plataforma Arduino;
- servomotores MG90S para movimentação dos eixos;
- cabos *jumper* para interligação;
- protoboard (ou placa de circuito) para organização das conexões.

Para o carro robótico, foram utilizados adicionalmente:

- chassi e suportes impressos em 3D (PLA);
- placa Arduino;
- motores de corrente contínua para tração;
- sensores ópticos (seguimento de linha e/ou detecção de obstáculos);
- ponte H (ex.: L298N);
- cabos jumper e elementos de fixação.

O modelo 3D do carro robótico é apresentado na **Figura 2**.

Figura 2 – Desenho 3D do Carro Robótico



Fonte: Acervo dos autores, 2025.

Já a composição orçamentária dos principais componentes e materiais de consumo é apresentada no Quadro .

Quadro 2 – Tabela orçamentaria

ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR	TOTAL
01	Arduino uno	258,75	258,75
02	Motor Eixo duplo 3v-6v	122,60	122,60
03	Modulo WiFi Serial ESP8266 ESP-01	99,30	99,30
04	Adaptador DIP para ESP8266 ESP-01	99,30	99,30
05	Adaptador USB para modulo WiFi ESP8266 ESP-01	14,16	14,16
06	Modulo ponte H Dupla L298N	127,80	127,80
07	Mini Protoboard 170 pontos	79,45	79,45
08	Jumpers macho-femea 20 cm kit com 40	65,60	65,60
09	Jumpers macho-macho 20 cm kit com 40	98,40	98,40
10	Transistor NPN BC547	2,25	2,25
11	Adaptador de bateria 9v sem plug	9,50	9,50
12	Mini Chave Gangorra KCD11-101 2 Terminais	19,00	19,00
13	Pilha AA 1,5V	44,50	44,50
14	Bateria Alcalina 9V	75,32	75,32
15	Modulo regulador de tensão step down buck DC-DC mini 360 3A	44,50	44,50
16	Roda 68 mm para chassi robô robotica	79,00	79,00
17	Roda boba rodizio giratorio	47,90	47,90
18	Parafuso 3mm	28,50	28,50
19	Porca para parafuso 3mm	19,50	19,50
Soma de material de consumo		1.335,33	1.335,33

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Observação (padronização de fixação): para montagem mecânica e padronização do kit, adotaram-se elementos de fixação M3 (parafusos e, quando aplicável, porcas). Considerando a estratégia predominante do projeto, priorizou-se rosca direta no PLA em pontos de menor solicitação e com espessura adequada de material.

3.3.1 Estimativa de custos dos componentes

A composição orçamentária dos principais componentes e materiais de consumo é apresentada no Quadro . Para fins de interpretação, considera-se que a coluna VALOR representa o valor unitário do item e a coluna TOTAL representa o valor total do item na quantidade utilizada (quando a quantidade for unitária, $VALOR = TOTAL$). Os valores foram levantados em 2025, podendo variar conforme fornecedor, região e data de compra.

3.4 Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos foram organizados em duas fases.

Fase 1 – Revisão, modelagem e planejamento técnico.

Foi conduzida uma revisão bibliográfica direcionada à identificação de soluções e experiências em robótica educacional de baixo custo com impressão 3D, com ênfase na educação básica. Em paralelo, realizou-se capacitação em softwares de modelagem tridimensional (CAD) e fatiamento (*slicer*), visando à definição de parâmetros adequados de impressão em PLA (por exemplo: altura de camada, percentual de preenchimento e temperatura de extrusão). Foram realizadas impressões preliminares de peças simples para familiarização com as impressoras e ajuste de configurações. Com base nesses testes, definiram-se modelos preliminares dos componentes estruturais e requisitos de montagem, robustez mecânica e integração eletroeletrônica.

Fase 2 – Prototipagem, programação e validação educacional (planejada).

Nesta etapa, foram impressas as peças do carro robótico conforme os modelos e parâmetros estabelecidos. Em seguida, realizou-se a montagem mecânica e a implementação dos circuitos eletrônicos, integrando motores/servomotores, sensores e placa microcontroladora. Posteriormente, foram desenvolvidos e testados códigos de programação para automação básica do protótipo, com verificação iterativa de funcionamento e ajustes de *hardware* e *software*.

Após a prototipagem, foram elaborados roteiros de atividades e guias para uso pedagógico dos kits no Ensino Fundamental e no Ensino Médio, contemplando objetivos de aprendizagem, sequência de tarefas, desafios e instrumentos de registro. A etapa de apresentação desses materiais a professores e a coleta sistemática de *feedback*, bem como a aplicação em escola parceira com estudantes, foram planejadas, mas não foram executadas no período deste estudo, em função de intercorrências na infraestrutura de impressão 3D e restrições de cronograma.

Por fim, prevê-se a aplicação dos kits com estudantes do Ensino Fundamental e Médio, sob coordenação conjunta da equipe do projeto e dos professores. Durante as atividades, serão observados aspectos como manuseio, engajamento, dificuldades recorrentes e adequação do tempo, gerando insumos para novas iterações de aperfeiçoamento do protótipo e materiais didáticos.

3.5 Parâmetros de impressão 3D e critérios de controle de qualidade

Para assegurar reprodutibilidade e desempenho mecânico compatível com uso educacional (montagem/desmontagem, transporte e manuseio), adotou-se um perfil de impressão em PLA com prioridade para resistência e acabamento, passível de ajustes conforme geometria da peça, marca do filamento e calibração do equipamento.

Quanto à montagem, priorizou-se rosca direta no PLA com parafusos M3. Para isso, os modelos CAD previram furos piloto tipicamente dimensionados em 2,8 mm (ajustáveis entre 2,7 mm e 2,9 mm), de forma a permitir formação de rosca pelo próprio parafuso, reduzindo a necessidade de porcas e simplificando a montagem do kit.

Os parâmetros de impressão e os critérios mínimos de controle de qualidade utilizados no projeto são apresentados no **Quadro** .

Quadro 3 – Parâmetros de impressão 3D (PLA) e critérios de controle de qualidade (Q)

Etapas	Parâmetros/itens (registro mínimo)	Critérios de aceitação
Impressão 3D (PLA)	Bico 0,4 mm; camada 0,16 mm; extrusão ~205 °C; mesa ~60 °C; 3–4 perímetros; topo/fundo 1,0–1,2 mm; infill 25–35% (gyroid/cubic); 40–50 mm/s (externas 25–30); suportes quando necessário; orientação e slicer (nome/versão)	Ausência de empenamento/delaminação que comprometa montagem; acabamento adequado nas faces funcionais; repetibilidade para montagem
Pós-processamento	Remoção de suportes; limpeza pontual de furos/encaixes; correção de “elephant foot”, quando necessário	Sem trincas; sem rebarbas que impeçam encaixe; superfícies funcionais preservadas
Inspeção dimensional	Medição de dimensões críticas (furos, encaixes, distâncias)	Conformidade com tolerâncias definidas no projeto (referência geral: $\pm 0,5$ mm para dimensões não críticas)
Teste de encaixe/montagem	Montagem a seco de subconjuntos e verificação de interferências	Encaixe funcional sem esforço excessivo; alinhamento adequado; ausência de interferências

Etapas	Parâmetros/itens (registro mínimo)	Crítérios de aceitação
Teste de rosca M3 no PLA	Furos piloto 2,8 mm (2,7–2,9 mm); aperto padronizado “encostar + 1/8 de volta (45°)”; 1 ciclo de desmontagem/remontagem repetindo o aperto	Não ocorrer trinca ao redor do furo/boss; parafuso não “espana” na primeira montagem; após 1 ciclo mantém fixação funcional (sem folga crítica)
Registro/rastreabilidade	Versão CAD/STL, data, parâmetros efetivos e correções	Possibilita reimpressão e reprodução do processo, com alterações justificadas

Fonte: Autores, 2025.

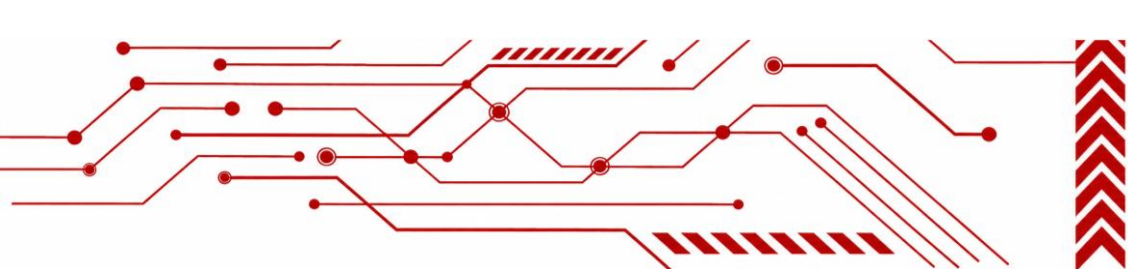
3.6 Unidades analisadas (“amostra”) e variáveis técnicas registradas

Considerando a natureza de desenvolvimento tecnológico, as unidades analisadas neste estudo foram:

- protótipo do carro robótico;
- conjunto de peças críticas para montagem e desempenho, incluindo, no mínimo, chassi/base, suportes de motor, suportes de sensores, acoplamentos, suportes de servomotor e pontos de fixação (furos e bosses para M3);
- versões dos modelos CAD/STL, registradas para rastreabilidade e reimpressão.

As principais variáveis técnicas avaliadas de forma qualitativa e funcional, no período do estudo, incluíram:

- ocorrência de defeitos de impressão que comprometessem montagem (ex.: empenamento e delaminação);
- necessidade de pós-processamento (remoção de suportes e limpeza de furos/encaixes);
- funcionalidade de encaixes por montagem a seco e ausência de interferências relevantes;
- desempenho do teste de rosca M3 no PLA (ausência de trincas e manutenção de fixação funcional após 1 ciclo de desmontagem/remontagem), conforme procedimento descrito no Quadro 3;
- rastreabilidade do processo por registro de versões de arquivos CAD/STL e parâmetros utilizados.



As variáveis tempo de impressão, consumo de filamento (massa/volume) e taxa de falhas/reimpressões não foram registradas sistematicamente neste ciclo do projeto, sendo recomendada sua inclusão em trabalhos futuros para fortalecer comparabilidade e replicabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os produtos desenvolvidos, os principais eventos ocorridos durante a fabricação e a montagem e discute potencialidades e limitações da proposta frente ao objetivo de aplicação educacional em escolas de Ensino Fundamental e Médio.

4.1 Desenvolvimento do protótipo e Produtos

Conforme previsto no plano do projeto, os principais resultados tangíveis foram kits funcionais de robótica educacional, composto por um carro robótico. O protótipo foi construído a partir de estruturas mecânicas impressas em 3D com filamento PLA, integradas a componentes eletrônicos (motores DC, servomotores, placa microcontroladora compatível com Arduino e circuitos auxiliares), indicando a viabilidade técnica da solução proposta para uso didático em ambiente controlado.

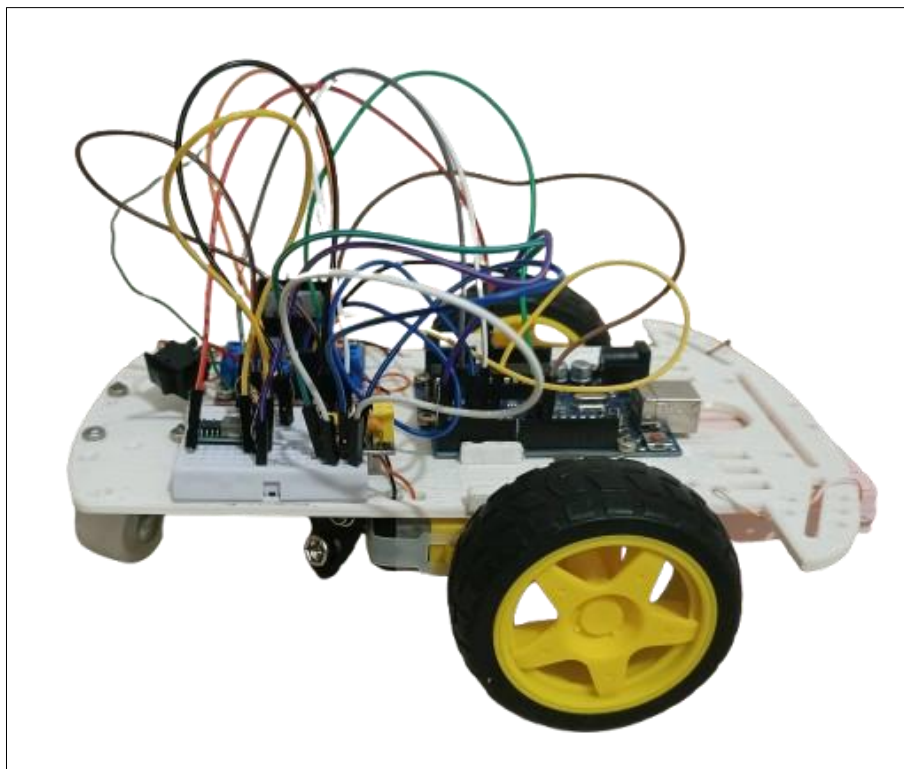
No caso do carro robótico, foram modeladas e impressas peças de chassi, suportes e acoplamentos que, após a montagem, permitiram a fixação de motores, rodas, sensores e da eletrônica de controle. Na construção do carro robótico, foram impressos elos e bases com geometria adequada ao acoplamento de servomotores, viabilizando a produção de movimentos no carro para demonstração de conceitos de cinemática e controle em atividades de ensino. A correspondência funcional entre o modelo digital e o protótipo físico foi considerada adequada para montagem e operação em laboratório, uma vez que os ajustes necessários após as primeiras impressões se restringiram à calibração de parâmetros de impressão e a pequenos refinamentos geométricos, incorporados nas iterações dos arquivos *CAD/STL*.

Foi possível verificar que a montagem de um protótipo usando a impressão 3D e eletrônica básica gerou um custo menor ao que teria se tivéssemos comprado o carro robótico pronto. Onde podemos ver que na montagem de 5 kits do carro robótico tivemos um custo de R\$ 1.335,33 e apenas um kit de um carro robótico está custando R\$ 379,90 nas devidas proporções de um kit de carro robótico temos os gastos de R\$267,07 que corresponde a 70,30% do valor do kit pronto na internet.

O protótipo físico do carro robótico montado é apresentado na **Figura 3**.



Figura 3 – Carro Robótico



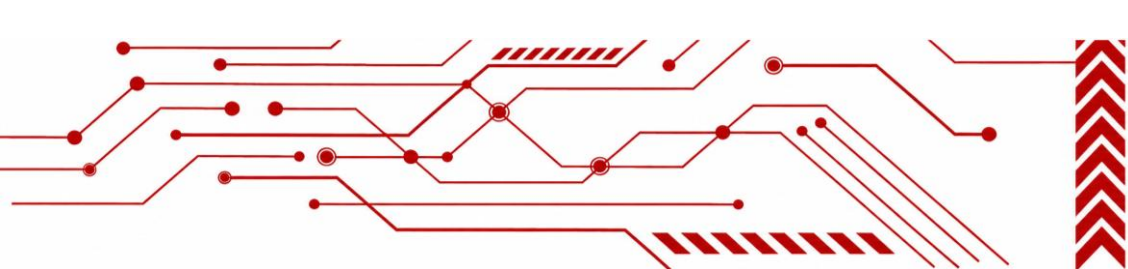
Fonte: Autores, 2025.

A automação dos kits foi implementada com o uso da plataforma Arduino, contemplando rotinas de controle de movimento e testes de resposta dos atuadores, o que permitiu demonstrar, em laboratório, comportamentos condizentes com o planejado (deslocamento do carro). Paralelamente, foram elaborados roteiros de atividades práticas voltados a docentes e discentes, detalhando procedimentos de montagem, noções introdutórias de programação e sugestões de experimentos, com vistas à futura utilização em sala de aula com maior autonomia.

4.2 Desafios Técnicos e Impacto no Cronograma

Um resultado relevante do processo foi a explicitação da dependência da infraestrutura de manufatura aditiva para a continuidade do cronograma. Durante a fabricação, a impressora 3D principal da universidade apresentou falha por queima de componente, exigindo aquisição de reposição e interrompendo a produção por período significativo. Em seguida, houve empenamento da mesa de impressão após o estouro de uma calha localizada acima da sala das impressoras no laboratório *maker*, o que comprometeu calibração e aderência das peças, demandando um processo prolongado de reajuste e manutenção.

Embora esses problemas tenham sido superados e tenha sido possível concluir a impressão e a montagem dos kits, os atrasos impactaram diretamente



a etapa de validação pedagógica planejada para ocorrer em escolas. A aplicação em contexto real de Ensino Fundamental e Médio tornou-se inviável no período restante para encerramento do trabalho, impedindo a coleta sistemática de dados em ambiente escolar.

Apesar da ausência de aplicação *in loco*, o protótipo foi apresentado no Encontro de Física do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (EFITA), em julho de 2025, atuando como ação de disseminação e como prova de conceito técnico-acadêmica. Nessa ocasião, o funcionamento dos kits foi demonstrado ao público do evento, incluindo docentes e estudantes, evidenciando a operação em condições de demonstração e a pertinência do artefato para divulgação e discussão de conteúdos de Física e Engenharia. Ressalta-se, contudo, que essa apresentação não constitui uma avaliação educacional estruturada e não envolveu protocolo sistemático de coleta e análise de dados, não substituindo a validação pedagógica prevista no delineamento do projeto.

4.3 Análise de Forças e Fragilidades

4.3.1 Forças (Potencialidades)

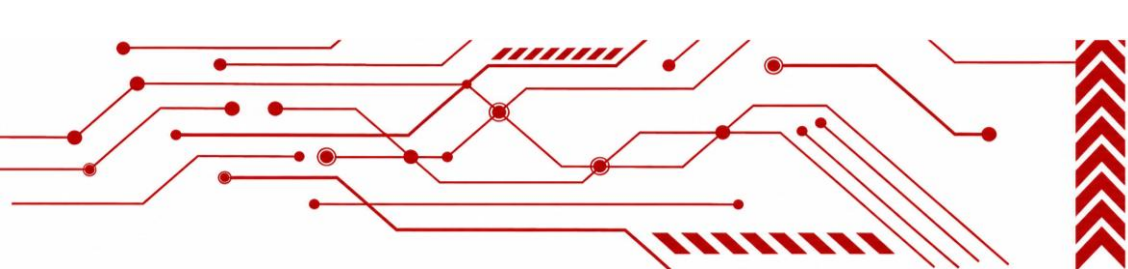
Os resultados indicam que a customização via impressão 3D é uma das principais forças da proposta. A possibilidade de modelar e reimprimir peças sob demanda, utilizando arquivos digitais compartilháveis, sinaliza um caminho para redução de custos frente a kits proprietários, especialmente na reposição de partes mecânicas e na adaptação do protótipo a diferentes contextos escolares. Esse caráter reconfigurável favorece ciclos iterativos de melhoria e se alinha à cultura *maker*, que valoriza experimentação, redesign e o “aprender fazendo”.

Além disso, a integração entre impressão 3D, eletrônica embarcada e programação com Arduino concretiza uma abordagem interdisciplinar típica das competências *STEM*, permitindo que um mesmo kit seja explorado sob diferentes perspectivas (mecânica, circuitos, lógica de controle e modelos matemáticos). A elaboração de roteiros de atividades, com previsão de revisões futuras a partir de validação pedagógica, reforça o potencial de evolução do material e facilita adaptação a diferentes níveis de complexidade. Em termos pedagógicos, tais características sugerem que o kit pode atuar como plataforma de aprendizagem ativa, favorecendo o desenvolvimento de competências técnicas e socioemocionais em diferentes contextos de ensino.

4.3.2 Fragilidades e Limitações

Por outro lado, a execução do projeto evidenciou fragilidades associadas ao modelo de produção distribuída e ao uso intensivo de infraestrutura de





laboratório. A dependência crítica das impressoras e das condições físicas do ambiente mostrou-se um fator de risco: falhas de *hardware*, danos estruturais e o tempo necessário para manutenção podem comprometer cronogramas, especialmente em escolas com poucos equipamentos e sem suporte técnico especializado. Nesses contextos, o tempo de impressão e montagem tende a se tornar um gargalo, limitando a escala de atendimento (turmas maiores ou várias turmas simultaneamente).

Outra limitação decorre da variabilidade de parâmetros entre impressoras, materiais e perfis de fatiamento, o que pode gerar discrepâncias dimensionais e de acabamento entre peças produzidas em instituições distintas. Sem diretrizes claras de parametrização, tolerâncias mecânicas e critérios mínimos de qualidade, a replicabilidade do kit pode ser comprometida, resultando em problemas de encaixe, folgas excessivas ou falhas de resistência, sobretudo quando os modelos forem compartilhados em rede.

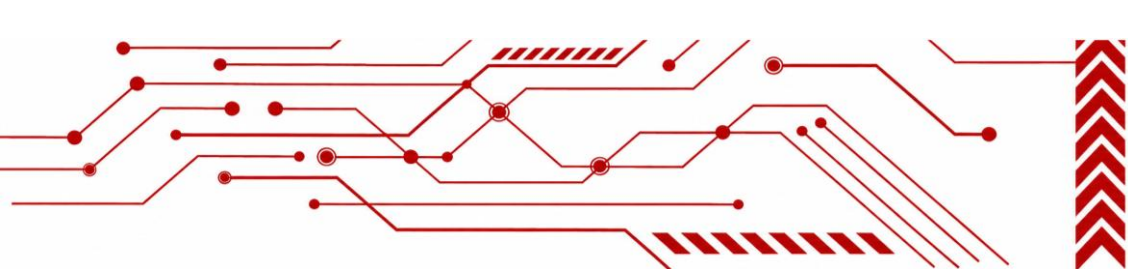
Além disso, a não realização da aplicação escolar impediu a implementação de um protocolo sistemático de avaliação educacional (indicadores de aprendizagem, instrumentos de coleta e análise de dados), restringindo as conclusões quanto ao impacto pedagógico efetivo. Assim, no presente estudo, a validação alcançada é predominantemente técnica, centrada na viabilidade de fabricação, montagem e funcionamento em ambiente de laboratório, conforme critérios mínimos de controle de qualidade definidos.

Em trabalhos futuros, recomenda-se ampliar a investigação com estudos de campo envolvendo estudantes e professores, a fim de mensurar ganhos de aprendizagem, engajamento e desenvolvimento de competências, bem como comparar o uso dos kits impressos em 3D com outras abordagens de robótica educacional disponíveis no contexto escolar. A síntese estratégica desses achados é apresentada na

Figura 4.

Figura 4 – Matriz SWOT do desenvolvimento dos kits de robótica educacional





FORÇAS • Customização e Replicabilidade • Interdisciplinaridade • Validação Técnica • Baixo Custo Relativo	FRAQUEZAS • Dependência de Infraestrutura • Tempo de Manufatura • Ausência de Validação Pedagógica • Padronização
OPORTNIDADES • Demandas da BNCC • Democratização do Ensino • Comunidade Open Source • Formação Docente	AMEAÇAS • Custo de Insumos • Manutenção nas Escolas • Obsolescência Tecnológica • Infraestrutura Escolar

Fonte: Autores, 2025.

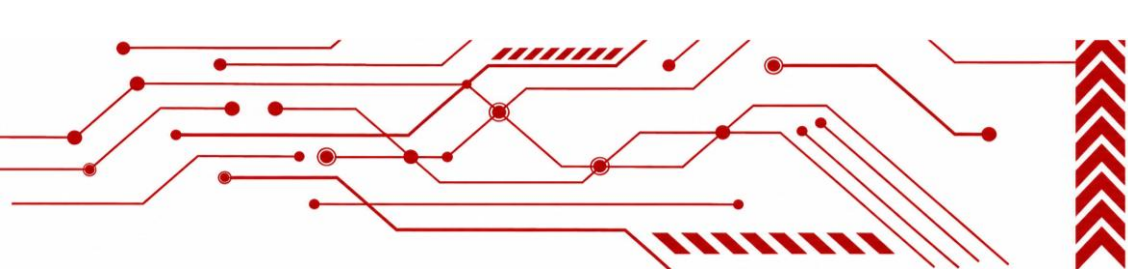
5 CONCLUSÕES

Este estudo estruturou e executou um processo de desenvolvimento de kits de robótica educacional baseados em impressão 3D, demonstrando a viabilidade técnica, em contexto acadêmico, de produzir um carro robótico com potencial de uso em atividades didáticas no Ensino Fundamental e no Ensino Médio. A integração entre modelagem CAD, manufatura aditiva em PLA, eletrônica embarcada e programação com plataforma compatível com Arduino resultou em um protótipo funcional, aptos a apoiar a ilustração de conceitos de cinemática, controle e automação em atividades de Ciências, Matemática e áreas correlatas.

Como contribuição central, o trabalho consolida um fluxo replicável que abrange revisão do estado da arte, prototipagem e documentação de suporte. Incluem-se nesse fluxo parâmetros técnicos de impressão e critérios mínimos de controle de qualidade, descrição de materiais e requisitos de montagem, além de uma estimativa de custos dos principais componentes. Em conjunto, esses elementos favorecem a reprodução, manutenção e adaptação da proposta por outras instituições, com maior previsibilidade de fabricação e montagem.

Do ponto de vista educacional, a proposta se alinha a abordagens de aprendizagem ativa associadas à robótica educacional e à cultura *maker*, ao aproximar estudantes de práticas de engenharia e de design iterativo e ao oferecer subsídios para exploração interdisciplinar no contexto *STEM*. Entretanto, o estudo evidenciou limites relevantes: (i) dependência de infraestrutura de manufatura aditiva e de suporte técnico para manutenção; (ii) necessidade de padronização de parâmetros para reduzir variabilidade dimensional entre impressoras e perfis de fatiamento; e (iii) ausência de aplicação em ambiente escolar com protocolo sistemático de avaliação, neste





ciclo, em função de intercorrências que impactaram o cronograma. Conclui-se, portanto, que a fabricação local de kits de baixo custo por impressão 3D é tecnicamente factível e promissora, mas requer planejamento institucional, suporte contínuo e avaliação educacional estruturada para evidenciar seu impacto formativo em contexto real.

5.1 Trabalhos Futuros

Recomenda-se a realização de estudos de campo em escolas parceiras, contemplando a aplicação dos kits em diferentes séries do Ensino Fundamental e do Ensino Médio, com definição de objetivos de aprendizagem e instrumentos de coleta (por exemplo, questionários, rubricas de desempenho, registros de produção dos estudantes e observação em sala). Esses estudos podem incluir comparação entre cenários com e sem uso dos kits e entre diferentes formas de mediação docente, de modo a mensurar aspectos como compreensão conceitual, resolução de problemas, criatividade e colaboração.

Em paralelo, sugere-se a elaboração de um protocolo de padronização técnica para impressão 3D dos componentes, especificando tolerâncias dimensionais, parâmetros recomendados de fatiamento e critérios mínimos de controle de qualidade, a fim de reduzir a variabilidade entre impressoras, materiais e contextos institucionais. Recomenda-se também o refinamento do design e da documentação pedagógica, com foco em versões modulares que permitam progressão de complexidade (de atividades introdutórias a desafios avançados com sensores adicionais e, quando pertinente, comunicação sem fio). Por fim, estudos futuros podem investigar modelos de implementação em maior escala, analisando custo total de propriedade (insumos, manutenção e tempo de máquina), estratégias de formação continuada em cultura *maker* e formatos de colaboração entre universidades, escolas e centros de inovação, visando consolidar práticas sustentáveis de robótica e impressão 3D na educação básica.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. L. *et al.* **Utilização de kits de robótica como atividades práticas no ensino médio.** Revista Caribeña de las Ciencias Sociales, Miami, v. 12, n. 8, p. 3634-3670, 2023. DOI: 10.55905/rcssv12n8-013. Disponível em: <https://revistacaribena.com/ojs/index.php/rccs/article/view/3379>. Acesso em: 15 nov. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6022:** informação e documentação: artigo em publicação periódica técnica e/ou científica: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.



BLIKSTEIN, P. **Maker movement in education: history and prospects**. 2018.

Disponível em: <https://titlab.org/wp-content/uploads/2019/10/2018.Blikstein.Tech-Handbook.Maker-Movement-History-Prospects.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2025.

CASTRO, M. *et al.* **Inclusão tecnológica e a cultura maker em contextos de vulnerabilidade**. Revista de Inovações Educacionais, v. 10, n. 2, p. 40-55, 2025.

DEWEY, J. **Experience and education**. New York: Macmillan, 1938.

FORD, S.; MINSHALL, T. **3D printing as an educational technology: theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice**. *Education and Information Technologies*, [s. l.], v. 26, p. 7017-7040, 2021. DOI: 10.1007/s10639-021-10733-7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-021-10733-7>. Acesso em: 08 nov. 2025.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. Additive manufacturing technologies: **3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing**. 2. ed. New York: Springer, 2015. Disponível em: <https://research.utwente.nl/en/publications/additive-manufacturing-technologies-3d-printing-rapid-prototyping/>. Acesso em: 08 nov. 2025.

HALVERSON, E. R.; SHERIDAN, K. M. The maker movement in education. **Harvard Educational Review**, Cambridge, v. 84, n. 4, p. 495-504, 2014. DOI: 10.17763/haer.84.4.34j1g68140382063. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Maker-Movement-in-Education-Halverson-Sheridan/66147755ddbbaa159bd5c59bcfad72f33e5c427b>. Acesso em: 08 nov. 2025.

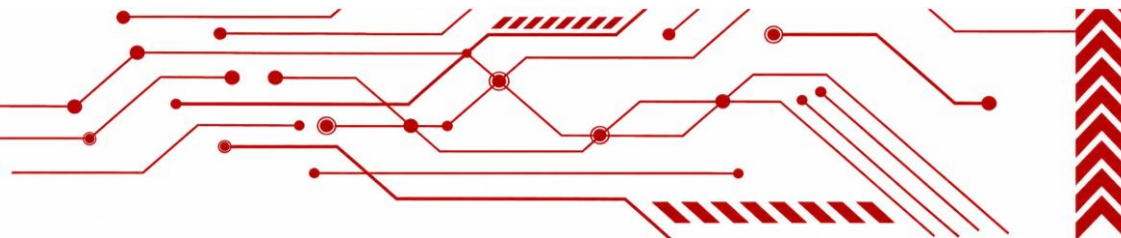
KUHLMANN, L.; BERTONCELLO, R. A.; ZATT, B. *et al.* **A systematic review of 3D printing applied to STEM education**. Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, v. 14, n. 7, p. 3277-3295, 2018.

MARTINEZ, S. L.; STAGER, G. **Invent to learn: making, tinkering, and engineering in the classroom**. Torrance, CA: Constructing Modern Knowledge Press, 2013. Disponível em: <https://inventtolearn.com/>. Acesso em: 08 nov. 2025.

PAPERT, S. **Mindstorms: children, computers, and powerful ideas**. New York: Basic Books, 1980.

PAPERT, S. **The children's machine: rethinking school in the age of the computer**. New York: Basic Books, 1993.

RESNICK, M. **Computers, televisions, and finger paints: closing the fluency gap**. Communications of the ACM, New York, v. 44, n. 3, 2001.



Disponível em: <https://web.media.mit.edu/~mres/papers/cacm-3-01.htm>.

Acesso em: 08 nov. 2025.

RESNICK, M.; BRUCKMAN, A.; MARTIN, F. **Pianos not stereos: creating computational construction kits**. Interactions, New York, v. 3, n. 6, 1996.

Disponível em: <https://web.media.mit.edu/~mres/papers/pianos/pianos.html>.

Acesso em: 08 nov. 2025.

SOUZA, F. R. *et al.* **Robótica educacional como ferramenta de apoio ao ensino de ciências e matemática no ensino fundamental e médio**. Revista Novas Tecnologias na Educação, v. 12, n. 1, p. 106-115, 2014.

WOHLERS, T. (ed.). **Wohlers report 2020: 3D printing and additive manufacturing state of the industry: annual worldwide progress report**.

Fort Collins: Wohlers Associates, 2020. Disponível em:

<https://books.google.pt/books?id=sRG7zQEACAAJ>. Acesso em: 08 nov. 2025.

