

Impressão 3D para o Ensino de Ciências Exatas na Educação Básica: Possibilidades Pedagógicas e Desafios

Eduardo Gomes Lacerda ¹, Flávia Linhalis ^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM), Faculdade de Educação (FE), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP – Brazil

²Núcleo de Informática Aplicada à Educação (NIED), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP – Brazil

e257914@dac.unicamp.br, flalin@unicamp.br

Abstract. *This article examines 3D printing in Basic Education's Exact Sciences. It addresses equipment underutilization due to lack of training and proposes physical models as anchors for meaningful learning. Practical examples and digital repositories are provided to support teachers. The study concludes that teacher pedagogical appropriation is vital for technological success.*

Resumo. *Este artigo analisa o uso da impressão 3D no ensino de Ciências Exatas na Educação Básica. Investiga a ociosidade de equipamentos por falta de formação docente e propõe o uso de modelos físicos como subsunçores, baseando-se na Teoria da Aprendizagem Significativa. São sugeridos repositórios gratuitos e exemplos práticos para auxiliar os professores. Conclui-se que a apropriação pedagógica é essencial para a efetividade tecnológica.*

1. Introdução

As tecnologias digitais vêm, cada vez mais, fazendo parte do cotidiano escolar. Desde recursos amplamente discutidos, como plataformas de ensino on-line, até equipamentos que chegam às escolas de forma menos refletida, como as impressoras 3D, o ambiente educacional é constantemente inundado por promessas de inovação. É necessário, entretanto, navegar com cautela diante dessas promessas, pois, como afirma Moreira (2018), a simples inserção de tecnologia nas escolas não garante uma transformação significativa no processo de ensino-aprendizagem quando a metodologia permanece inalterada.

Um exemplo emblemático dessa inserção sem reflexão é o das impressoras 3D. Ao longo desta pesquisa, em nosso grupo de pesquisa, tivemos contato com cinco escolas que possuem esses equipamentos, duas particulares e três públicas. Quatro das cinco instituições, possuíam máquinas que não eram utilizadas: duas apresentavam acúmulo visível de pó, evidenciando o desuso prolongado; uma havia parado de funcionar por falta de manutenção; e na última, nenhum membro da equipe escolar sabia da existência da máquina, que estava guardada em um depósito. Apenas uma escola (de caráter técnico) fazia uso regular das impressoras, e ainda assim somente um professor, em um corpo docente de mais de 50 profissionais, sabia operá-las.

Esse cenário de ociosidade contrasta com os vultosos investimentos públicos realizados para aquisição desses equipamentos. Em 2018, a Secretaria Municipal de Educação de São Paulo destinou mais de 3,8 milhões de reais à compra de 583 impressoras 3D, uma para cada escola de Ensino Fundamental da cidade (Prefeitura do Município de São Paulo, 2018). Em seguida, o Centro Paula Souza adquiriu uma impressora para cada ETEC da rede, com investimento superior a um milhão de reais (Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2021). Em ambos os casos, as impressoras foram compradas de um fornecedor que posteriormente encerrou a fabricação desses equipamentos e não oferece suporte técnico, tornando o cenário ainda mais problemático.

Diante desse quadro, este artigo parte de uma premissa pragmática: as impressoras 3D já estão nas escolas. A questão não é, portanto, se devemos adquiri-las, mas como transformar um recurso subutilizado em instrumento pedagógico efetivo. Para isso, o olhar se volta especialmente para o ensino de Ciências Exatas (Física, Química e Matemática), áreas em que a abstração dos conceitos representa um desafio recorrente e em que a materialização de modelos concretos pode cumprir papel pedagógico relevante.

O objetivo deste artigo é discutir as possibilidades pedagógicas e os desafios do uso da impressão 3D no ensino de Ciências Exatas na Educação Básica, tendo como fio condutor a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Para além do argumento teórico, são apresentados exemplos de aplicação e indicados os principais repositórios digitais gratuitos de modelos prontos para impressão, a fim de oferecer ao professor um ponto de partida prático e acessível.

2. Cenário de Ociosidade

Para embasar a discussão sobre o desuso das impressoras 3D nas escolas, foram realizadas visitas e conversas informais com gestores e docentes de cinco instituições de Educação Básica do interior de São Paulo, duas privadas e três públicas, entre 2023 e 2024. O contato se deu no âmbito das atividades do grupo de pesquisa dos autores, sem protocolo de pesquisa formal, configurando um levantamento de caráter exploratório.

Os principais entraves identificados foram: ausência de formação docente específica para operação e uso pedagógico dos equipamentos; falta de insumos (filamentos e peças de reposição), em parte decorrente do encerramento das atividades do fornecedor original, dificuldades técnicas sem suporte disponível, o que resultou em equipamentos parados após a primeira falha, e desconhecimento institucional, exemplificado pelo caso em que nenhum membro da equipe sabia da existência da máquina. Em nenhuma das quatro escolas com equipamentos ociosos foram identificadas iniciativas formais de busca por parcerias externas para viabilizar formação ou manutenção.

Esse quadro reforça que o problema não é tecnológico, mas de gestão e formação. A seção 7 retoma esses entraves à luz dos desafios pedagógicos e aponta caminhos para sua superação.

3. Referencial Teórico

3.1. Aprendizagem Significativa e o Papel dos Objetos Concretos

A Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel, defende que a aprendizagem genuína ocorre quando um novo conhecimento se ancora de forma não arbitrária e substantiva a um conhecimento preexistente na estrutura cognitiva do aprendiz. Esses conhecimentos preexistentes, chamados de subsunçores, funcionam como pontos de ancoragem que conferem sentido ao novo conteúdo (Moreira, 2021).

No ensino de Ciências Exatas, em que conceitos como campo elétrico, geometria espacial ou ligações moleculares frequentemente são recebidos com resistência a partir de simples descrições verbais e representações bidimensionais, a existência de subsunçores adequados torna-se ainda mais crítica. Nesse contexto, objetos concretos e manipuláveis podem cumprir dupla função: servir como o próprio subsunçor, a âncora tangível a partir da qual o conceito abstrato ganha sentido, ou fortalecer e organizar subsunçores já existentes, refinando a rede de conhecimentos do aluno.

A impressão 3D, ao permitir a produção de modelos físicos precisos, personalizáveis e de baixo custo, oferece ao professor uma ferramenta para tornar concreto aquilo que é abstrato. Um modelo impresso de uma molécula de DNA, de uma função tridimensional ou de um circuito elétrico deixa de ser uma representação plana e passa a ser um objeto que o aluno pode segurar, girar e examinar, experiência genuinamente distinta da observação de uma figura em um livro didático.

Pesquisas na área de cognição e ensino de Química corroboram esse argumento. Casselman et al. (2021), ao comparar modelos físicos e virtuais no ensino de estereoquímica, demonstraram que o uso de objetos concretos e manipuláveis favorece a construção de representações mentais mais robustas, reforçando o papel do objeto tridimensional como suporte à visualização espacial.

3.2. Ensino de Ciências Exatas e Visualização Espacial

O ensino de Física, Química e Matemática na Educação Básica compartilha um desafio comum: a necessidade de que os alunos desenvolvam a capacidade de visualizar e manipular mentalmente objetos e relações que não são diretamente observáveis. Seja na compreensão de uma geometria molecular, na interpretação de um gráfico de função no espaço tridimensional ou na análise de forças em um sistema mecânico, a visualização espacial ocupa papel central na construção do conhecimento nessas disciplinas.

Modelos físicos tridimensionais têm demonstrado resultados superiores aos modelos virtuais em tarefas que exigem compreensão espacial, especialmente com alunos que ainda não desenvolveram plenamente o raciocínio formal abstrato (Casselman et al., 2021). A manipulação ativa do objeto, girá-lo, desmontá-lo, compará-lo, ativa modos de representação que a simples observação não alcança, tornando o modelo tangível um recurso valioso para a construção de uma compreensão genuína em disciplinas como Física, Química e Matemática.

3.3. Pensamento Computacional e BNCC Computação

A homologação do Complemento Curricular de Computação à BNCC (CNE, 2022) introduziu o Pensamento Computacional como eixo estruturante do ensino de Computação na Educação Básica. Definido como a capacidade de identificar, formular e resolver problemas de forma sistemática e criativa por meio de conceitos e práticas da Computação, o Pensamento Computacional articula quatro dimensões centrais:

decomposição, reconhecimento de padrões, abstração e algoritmos (Wing, 2006; CNE, 2022).

A impressão 3D oferece um contexto privilegiado para o desenvolvimento dessas dimensões. Ao preparar um modelo para impressão, o aluno precisa decompor o objeto em camadas (decomposição), identificar quais partes requerem suporte ou ajuste de escala (reconhecimento de padrões), trabalhar com uma representação digital de um objeto físico (abstração) e compreender a sequência de operações que transforma um arquivo digital em um objeto real (algoritmos). Nesse sentido, o uso pedagógico da impressora 3D pode ser articulado explicitamente às habilidades de Computação previstas na BNCC, especialmente nas unidades temáticas de Pensamento Computacional dos anos finais do Ensino Fundamental e do Ensino Médio.

Essa articulação está alinhada também com a perspectiva maker de educação, que valoriza o aprendizado pela criação (making), a cultura do compartilhamento e a resolução de problemas reais por meio de ferramentas digitais e físicas (Blikstein, 2013). Repositórios como o Thingiverse são, em si, expressão dessa cultura: comunidades abertas de criadores que compartilham projetos sob licenças livres, em consonância com os princípios do movimento open source que possibilitou a popularização das próprias impressoras 3D.

4. A Impressão 3D: Técnicas e Equipamentos

Antes de discutir os repositórios e as possibilidades pedagógicas de uso da impressão 3D, julgamos necessário contextualizar a tecnologia em si, seu surgimento, as principais técnicas disponíveis e suas características de funcionamento e manuseio. Essa contextualização é relevante para que o professor compreenda as especificidades do equipamento que já possui em sua escola e possa tomar decisões mais informadas sobre seu uso, como a escolha do material de impressão, a adequação da técnica ao tipo de modelo desejado e os cuidados básicos de operação.

O processo de impressão 3D pode ser comparado à construção de uma parede de tijolos: assim como os tijolos são colocados um a um, de baixo para cima, os objetos são construídos camada por camada, cada uma sobre a anterior. Essa tecnologia surge no início da década de 1980, a partir das pesquisas de Hideo Kodama no Japão, que descreveu a solidificação de uma resina fotossensível em finas camadas por meio de raios ultravioleta, processo que seria a base da Estereolitografia (SLA), formalizada por Charles Hull em 1984 e que deu origem à empresa 3D Systems (Su; Al'Aref, 2018). Com o vencimento da patente da técnica de Modelagem de Deposição Fundida (FDM) em 2005, abriu-se caminho para projetos open source que tornaram as impressoras 3D progressivamente mais acessíveis.

4.1. Modelagem de Deposição Fundida (FDM)

A FDM é, atualmente, a técnica mais popular e a mais provável de estar presente nas escolas. Seu funcionamento baseia-se em uma extrusora que deposita um filamento de material termoplástico fundido sobre uma mesa de impressão, construindo o objeto camada por camada (Agrawal; Thompson, 2021). Os filamentos mais comuns são o ABS, o PLA, o PETG e o TPU. Para o contexto escolar, o PLA costuma ser o mais indicado por sua facilidade de manuseio e impressão em temperaturas mais baixas, conforme sintetizado no Quadro 1.

Quadro 1. Comparativo dos principais filamentos utilizados em impressoras FDM.

Material	Preço/kg	Vantagens	Desvantagens
ABS	R\$ 45,00	Baixo custo e alta resistência física e térmica	Dificuldade de manuseio e deformação térmica
PLA	R\$ 90,00	Facilidade de manuseio; temperaturas mais baixas	Custo elevado em relação ao ABS
PETG	R\$ 80,00	Seguro para contato com alimentos	Dificuldade de manuseio e deformação térmica
TPU	R\$ 110,00	Alta flexibilidade e resistência mecânica	Custo elevado

Fonte: Lacerda (2024).

4.2. Estereolitografia (SLA)

A SLA utiliza um laser de alta precisão para curar pontos específicos de uma resina fotopolimerizável, construindo o objeto camada a camada com resolução e acabamento superiores à FDM (Agrawal; Thompson, 2021). As peças produzidas por SLA apresentam maior nível de detalhe, tornando essa técnica mais adequada para modelos que exigem precisão dimensional elevada, como estruturas moleculares ou peças de encaixe.

4.3. Processamento Digital de Luz (DLP)

As impressoras DLP também utilizam resina fotopolimerizável, mas se diferenciam da SLA na forma como cada camada é produzida: enquanto a SLA cura a resina ponto a ponto com um laser, a DLP utiliza projetores que expõem toda a área de uma camada de uma só vez (Agrawal; Thompson, 2021). Isso significa que o tempo de impressão é determinado apenas pela altura do objeto, imprimir um ou dez objetos de mesma altura leva o mesmo tempo, o que representa vantagem logística relevante para a produção de múltiplos exemplares de um mesmo material didático.

5. Repositórios Digitais: Acesso a Modelos Prontos para Impressão

Um dos obstáculos frequentemente citados pelos professores, na nossa pesquisa, para o uso da impressão 3D é a necessidade de criar os próprios modelos em softwares de modelagem 3D, habilidade que demanda tempo de aprendizagem considerável. Esse obstáculo, porém, é contornável: existem repositórios digitais gratuitos que disponibilizam milhares de modelos prontos para impressão, incluindo seções específicas voltadas ao uso educacional. A cultura de compartilhamento que caracteriza o movimento open source produziu um ecossistema rico de plataformas colaborativas, dos quais os três mais relevantes para o contexto educacional são o Thingiverse, o Printables e o Makerworld, pois foi observado que possuem áreas dedicadas a modelos educacionais.

5.1. Thingiverse

O Thingiverse, mantido pela empresa MakerBot, é o repositório mais antigo e um dos maiores em volume de modelos disponíveis. Para o uso educacional, oferece a seção

"Thingiverse Education", com modelos organizados por área e nível escolar. A busca pode ser realizada pelas abas educacionais ou pelo sistema de pesquisa geral, preferencialmente em inglês, o que amplia significativamente os resultados. O acesso é gratuito e a maioria dos modelos possui licença que permite o uso pessoal e educacional.

5.2. Printables

O Printables, plataforma da Prusa Research, organiza seus modelos educacionais na categoria "Learning". Destaca-se pela qualidade das descrições e pela comunidade ativa que avalia e comenta os modelos, oferecendo ao professor informações valiosas sobre a qualidade e a aplicabilidade de cada arquivo antes mesmo de imprimi-lo.

5.3. Makerworld

O Makerworld, plataforma da Bambu Lab, é mais recente, mas tem crescido rapidamente em volume de usuários e modelos. Possui a seção "EDUCAÇÃO" com modelos categorizados. Ainda apresenta menor volume de modelos educacionais em comparação às anteriores, mas sua interface é mais moderna e intuitiva.

5.4. Como Acessar e Usar os Modelos

Em todos os repositórios, o fluxo de uso segue um padrão semelhante: (1) buscar o modelo nas abas educacionais ou no campo de pesquisa; (2) baixar o arquivo no formato .STL; (3) abrir o arquivo em um fatiador, como o OrcaSlicer, gratuito e compatível com a maioria das impressoras; (4) configurar parâmetros básicos de impressão (altura de camada, preenchimento e suportes); e (5) exportar o arquivo e enviá-lo à impressora via pendrive, cartão de memória ou Wi-Fi. Quanto ao licenciamento, a grande maioria dos modelos permite uso pessoal e educacional gratuito, vedada a comercialização, as especificidades constam na descrição de cada modelo.

6. Possibilidades Pedagógicas para o Ensino de Ciências Exatas

A impressão 3D, quando inserida de forma intencional e fundamentada no currículo, oferece ao professor de Ciências Exatas uma ferramenta para superar uma das limitações mais persistentes do ensino dessas disciplinas: a distância entre o conceito abstrato e a experiência concreta do aluno. Os modelos disponíveis nos repositórios apresentados na seção anterior cobrem um espectro amplo de conteúdos de Física, Química e Matemática.

6.1. Ensino de Física

No ensino de Física, a impressão 3D pode contribuir especialmente na produção de equipamentos experimentais de baixo custo. Experimentos clássicos que demandam materiais específicos, muitas vezes indisponíveis ou deteriorados nas escolas, podem ser reproduzidos a partir de modelos disponíveis em repositórios digitais. Balanças, rampas, sistemas de molas, suportes para sensores e componentes de óptica geométrica são exemplos de objetos que podem ser impressos com custo unitário bastante reduzido, conforme o Quadro 2.

Quadro 2. Custo estimado de produção de experimentos de Física impressos em 3D.

	Balança	Rampa	Molas
Foto do experimento			
Quantidade de material	65 g	30 g	35 g
Preço total do material	R\$ 6,50	R\$ 3,00	R\$ 3,50
Consumo energético	1755 W	675 W	1161 W
Preço total	R\$ 7,90	R\$ 3,54	R\$ 4,43

Fonte: Adaptado de Lacerda (2024).

Os exemplos vistos no Quadro 2¹ podem ser utilizados para o estudo do coeficiente de atrito estático, introdução às máquinas simples, estudo da constante elástica. Além dos experimentos, modelos impressos em 3D podem representar grandezas e fenômenos físicos de difícil visualização, como campos elétricos e magnéticos, frentes de onda ou perfis de velocidade em fluidos. A possibilidade de imprimir múltiplos exemplares de um mesmo modelo, ao custo de poucos reais, resolve ainda um problema crônico das aulas experimentais: a necessidade de compartilhar um único equipamento entre trinta ou mais alunos.

6.2. Ensino de Química

Na Química, uma das maiores dificuldades está na compreensão da geometria molecular e das estruturas tridimensionais das substâncias. Modelos físicos de moléculas impressos em 3D, como o da Figura 1(a)² permitem que o aluno observe, gire e manipule estruturas como a molécula de água de uma perspectiva que nenhuma imagem bidimensional pode oferecer. A personalização é uma vantagem adicional: o professor pode, por exemplo, imprimir dois modelos idênticos de uma molécula quiral para ilustrar a relação entre imagem e espelho.

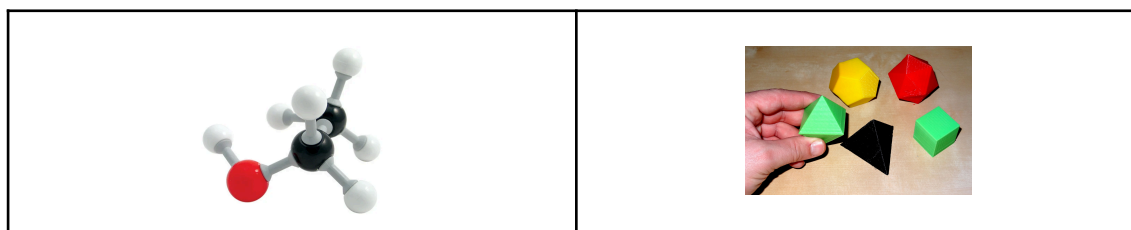


Figura 1. (a) Modelo 3D de uma molécula; (b) Sólidos de Platão impressos em 3D.

6.3. Ensino de Matemática

¹Os modelos 3D para esses experimentos podem ser encontrados em:
<https://drive.google.com/drive/folders/1GjOXuP9-pOa6cKuNpkf1CYGKGEIo6ILV>.

² Modelo disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:1327007>

Na Matemática, a impressão 3D encontra aplicação especialmente na geometria espacial. Modelos impressos de sólidos de Platão, como o da Figura 1(b)³, prismas, pirâmides, cilindros e esferas, além de suas planificações, permitem ao aluno uma exploração sensorial direta que complementa as definições formais. Outras aplicações incluem superfícies geométricas complexas (parabolóides, hiperbolóides, superfícies de revolução), representações de frações e proporções. Para os anos iniciais do Ensino Fundamental, blocos geométricos impressos podem substituir ou complementar o material dourado e outros manipuláveis tradicionais.

7. Desafios e Limitações

7.1. Formação Docente e Apropriação Tecnológica

O principal desafio para a efetiva integração da impressão 3D ao ensino de Ciências Exatas não é tecnológico, mas pedagógico e formativo. Como evidenciado pelo cenário de equipamentos ociosos descrito na introdução, a simples presença da máquina na escola não é suficiente. É necessário que os professores se apropriem da ferramenta, não apenas em seu aspecto técnico de operação, mas em sua dimensão pedagógica: para quê usar, em qual momento do processo de ensino-aprendizagem e de que forma articular o objeto impresso ao conteúdo curricular.

A formação continuada de professores para o uso pedagógico de tecnologias digitais depende tanto da iniciativa docente quanto do compromisso das instituições de ensino e dos poderes públicos, pois a simples aprovação de normativas e aquisições de equipamentos não garante sua efetiva utilização (Oliveira et al., 2025). No caso específico da impressão 3D, o problema é agravado pelo fato de que muitas das aquisições públicas ocorreram sem qualquer plano de formação docente associado, as máquinas chegaram às escolas, mas a formação necessária para operá-las não chegou junto. Como é o caso da cidade de São Paulo, que cerca de 30 professores passaram pela formação (Prefeitura do Município de São Paulo, 2018), o que não condiz com a quantidade de impressoras adquiridas.

Diante disso, propõe-se um movimento gradual de apropriação: primeiro, o professor se familiariza com a tecnologia como produtor de materiais didáticos, imprimindo modelos prontos disponíveis nos repositórios; depois, em um segundo momento, os alunos podem ser incorporados ao processo como produtores dos seus próprios modelos e objetos. Essa proposta está alinhada com a perspectiva de Ausubel sobre diferenciação progressiva: começa-se pelo mais geral e acessível e avança-se gradualmente para o mais específico e complexo, com cada etapa consolidando aprendizagens que servem de subsunção para a seguinte.

7.2. Suporte Técnico e Manutenção

A ausência de suporte técnico é um dos fatores que mais contribuem para o abandono dos equipamentos. Impressoras 3D demandam manutenção periódica: limpeza do bico extrusor, nivelamento da mesa de impressão, substituição de peças sujeitas a desgaste. Sem suporte técnico disponível, a primeira falha de funcionamento tende a ser definitiva. O caso das aquisições municipais de São Paulo e do Centro Paula Souza é emblemático: em ambos, as impressoras foram compradas de um fornecedor que já não

³ Modelo disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:37797>

oferece suporte técnico. A escolha por fornecedores com histórico de suporte e comunidade ativa deveria ser critério central em qualquer processo envolvendo tecnologias educacionais.

7.3. Tempo de Impressão e Planejamento

Ao contrário de tecnologias de resposta imediata, a impressão 3D é naturalmente lenta. Um experimento simples pode levar horas, modelos mais complexos podem demandar ainda mais tempo. Isso significa que o uso pedagógico da impressora exige planejamento antecipado. Por outro lado, esse aspecto pode ser convertido em oportunidade pedagógica: o acompanhamento do processo de impressão, observar as camadas sendo depositadas, entender como o fatiador traduz um modelo digital em movimentos físicos, é, em si, uma experiência de aprendizagem rica, especialmente quando integrada a conteúdos de Física ou Matemática.

7.4. Qualidade Pedagógica dos Modelos nos Repositórios

Um desafio específico ao uso dos repositórios é que a grande maioria dos modelos não foi criada com intenção pedagógica explícita. Muitos carecem de descrição de objetivos de aprendizagem, orientações de uso em sala de aula ou indicação do nível escolar adequado. Cabe ao professor, portanto, exercer um papel de curador: selecionar, avaliar e contextualizar pedagogicamente os modelos antes de utilizá-los, integrando-os de forma intencional ao planejamento de suas aulas. Essa curadoria docente, longe de ser um fardo, é parte do processo de formação profissional e exercita competências de planejamento, avaliação e adaptação curricular.

8. Conclusão

Este artigo buscou discutir algumas possibilidades pedagógicas e os desafios do uso da impressão 3D no ensino de Ciências Exatas na Educação Básica, partindo de uma constatação concreta: as impressoras estão nas escolas, mas não estão sendo usadas. Diante desse desperdício de recursos e potencial, argumentou-se que a superação do problema passa necessariamente pela formação e pela apropriação docente, não pela aquisição de novos equipamentos.

Do ponto de vista teórico, a impressão 3D encontra fundamentação sólida na Aprendizagem Significativa de Ausubel, ao produzir objetos concretos que funcionam como subsunçores para conceitos abstratos. Adicionalmente, o artigo demonstra que a tecnologia articula-se de forma produtiva com o Pensamento Computacional previsto na BNCC da Computação e com a cultura maker, que valoriza o fazer, o compartilhamento e a resolução criativa de problemas. Os repositórios digitais gratuitos representam um caminho concreto e acessível para que professores sem formação em modelagem 3D possam utilizar os equipamentos disponíveis nas escolas. A curadoria pedagógica dos modelos encontrados nesses repositórios é, entretanto, uma responsabilidade que não pode ser delegada.

Como limitações deste trabalho, destacam-se o caráter exploratório e não sistemático do levantamento realizado nas escolas e a ausência de dados empíricos sobre os efeitos de aprendizagem dos modelos apresentados. Estudos futuros poderiam investigar o impacto de intervenções com modelos impressos em indicadores de aprendizagem em Ciências Exatas, a efetividade de programas de formação docente

focados na impressão 3D e modelos de parceria entre escolas, universidades e espaços makers para viabilidade técnica e financeira dos equipamentos.

Referências

- Agrawall, A. e Thompson, M. K. (2021) *Additive Manufacturing for the Aerospace Industry*. Elsevier.
- Blikstein, P. (2013) Digital fabrication and 'making' in education: The democratization of invention. In: Walter-Herrmann, J.; Büching, C. (org.). *FabLab: Of Machines, Makers and Inventors*. Bielefeld: Transcript Publishers.
- CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (CNE). Parecer CNE/CEB nº 2/2022, aprovado em 17 de fevereiro de 2022. Normas sobre Computação na Educação Básica – Complemento à Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Ministério da Educação, Brasília, DF, 2022.
- Casselman, M. et al. (2021) Advancing multimedia learning for science: Comparing the effect of virtual versus physical models on student learning about stereochemistry. *Science Education*. DOI: 10.1002/sce.21675.
- Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (2021) *Aquisição de impressoras 3D para as ETECs*. São Paulo.
- Lacerda, E. G. (2024) *Instrumentos para o ensino de física: uma perspectiva a partir da impressão 3D*. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Estadual Paulista (Unesp).
- Moreira, M. A. (2018) Uma análise crítica do ensino de Física. *Estudos Avançados*, v. 32, n. 94, p. 73–80.
- Moreira, M. A. (2021) *Teorias de Aprendizagem*. 3. ed. São Paulo: LTC.
- Nischelwitzer, A. (2012) Platonic solid in Euclidean geometry / Platonische Körper. Thingiverse. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:37797>. Acesso em: 02 mar. 2026.
- Oliveira, A. R., Rosa, A. C. C., Moura, P. A. M. A., Silva, M. A. e Grecco, C. H. S. (2025) Políticas educacionais de formação continuada: os professores e as novas tecnologias digitais. *Revista Educação Pública*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 8.
- Prefeitura do Município de São Paulo (2018) *Professores passam por formação para utilizarem impressoras 3D*. São Paulo.
- Queen, J. (2016) Chemistry. Thingiverse. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:1327007>. Acesso em: 02 mar. 2026.
- Su, J. e Al'Aref, S. J. (2018) History and development of 3D printing. In: Al'Aref, S. J. et al. (org.). *3D Printing Applications in Cardiovascular Medicine*. Cambridge: Academic Press.
- Wing, J. M. (2006) Computational thinking. *Communications of the ACM*, v. 49, n. 3, p. 33–35.