



Desenvolvimento de protótipo de órtese de punho personalizada fabricada por manufatura aditiva

Caio Lorrán Pereira Piza¹, Alberto Yoshihiro Nakano¹, Marcos Roberto Bombacini¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo-PR, Brasil (bombacini@utfpr.edu.br)

Resumo: Órteses são estruturas que auxiliam o corpo na sustentação ou realização de movimentos que são reduzidos por acidente, cirurgias, doenças degenerativas, entre outros. Em cada caso, um indivíduo requer uma órtese específica, buscando a sua melhor recuperação ou adaptação. Neste sentido, a manufatura aditiva (MA) aplicada na fabricação de órteses vem sendo explorada abundantemente, decorrente da fácil realização de construções complexas e personalizadas. Neste trabalho, apresenta-se o desenvolvimento de um protótipo de órtese de punho obtido pela termoformagem de uma estrutura planificada impressa por MA obtida de um modelo inicial em gesso.

Palavras-chave: Manufatura aditiva; órtese de punho; termoformagem.

INTRODUÇÃO

Órteses são estruturas, equipamentos ou aparelhos que auxiliam o movimento e a recuperação de membros com alguma dificuldade motora, devido a acidente ou doença, dando estabilidade e fornecendo sua orientação, correção ou regulação fisiológica correta. Em casos permanentes a órtese auxilia o movimento e o alívio de dores. Provinda da palavra grega “Orthos”, significando reto ou normal, a órtese é um aparelho exoesquelético que ordena uma ou mais partes do corpo, auxiliando a retomada do movimento fundamental (SAÚDE, 2019). Segundo o último censo, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2022 (IBGE, 2022), 7,3% da população (14,4 milhões) possui algum nível de deficiência ou dificuldade motora e dentro deste conjunto tem-se os indivíduos que necessitam de auxílio para realização de suas atividades por meio de aparelhos como as órteses. Órteses são divididas em três grupos, sendo elas, órteses de membros inferiores, órteses para coluna vertebral e órteses de membros superiores para o tratamento de inflamações, torções, deformidades, recuperações de intervenções cirúrgicas, entre outras (SAÚDE, 2019).

O foco deste trabalho se encontra no estudo de órtese de membros superiores, especificamente em órteses de punho cujo processo geral de fabricação envolve o uso de gesso. Essencialmente, o método tradicional consiste em cobrir a região com tecido e algodão, uma camada de gesso e, por fim, outra camada de tecido e algodão. Um problema desse método é que a órtese fica totalmente fechada e não removível, sendo que o ambiente escuro e úmido ajuda a proliferação de fungos e bactérias podendo causar problemas derma-

tológicos. Adicionalmente, elas também são pesadas, sendo capaz de causar danos aos ligamentos (NETO, 2018).

Atualmente a manufatura aditiva (MA) ou mais conhecida como impressão 3D vem ganhando espaço no ramo de órteses como consequência das crescentes pesquisas na área (FERRARI; SANTOS; MEDOLA, 2019; CHHIKARA et al., 2022; KUMAR; GUPTA; PRATIHAR, 2025; JAN et al., 2025). Podem-se produzir as mais diversas formas, como ângulos agudos e formas complexas, produzindo órteses mais leves e porosas, podendo evitar os problemas dermatológicos e de peso citados anteriormente. A MA dispõe de diversos métodos de fabricação, como a impressão por estereolitografia (SLA), um dos pioneiros da área, que consiste em um polímero líquido que se enrijece com a incidência de luz ultravioleta (UV). Neste processo, o líquido se encontra em uma plataforma que se desloca para baixo a cada nova camada impressa por incidência de luz UV. Outro método bastante popular é a sinterização seletiva a laser (SLS), muito parecida com o método SLA, contudo, este processo é realizado através de depósito de material em forma de pó, que se solidifica com a incidência de um laser (DUARTE, 2016). Outra tecnologia é conhecida como *Fused Deposition Modeling* (FDM), na qual o polímero é fundido através de um bico extrusor de elevada temperatura e solidificado ao decorrer do seu resfriamento formando, assim, o objeto. O FDM é considerado mais simples em comparação aos outros métodos de impressão 3D como também de baixo custo. No entanto, tem a desvantagem de possuir um baixo desempenho em construções de peças de alta resolução (VOLPATO, 2017).



Para utilização da tecnologia FDM empregada à impressão 3D, os materiais mais comuns são: o Ácido Polilático (PLA), material renovável, de fácil impressão e com uma baixa temperatura vítrea; o Acrilnitrila Butadieno Estireno (ABS), resistente a temperatura elevada e impactos e de fácil acabamento; o Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol (PETG), material que une a facilidade de impressão do PLA com a resistência do ABS, porém por um preço mais elevado; e o material flexível Poliuretano Termoplástico (TPU), material empregado na produção de peças que necessitam de certa flexibilidade (PORTELA, 2026).

A impressão 3D vem expandindo o conceito de personalização em massa, já que reduz os custos na fabricação de itens customizados. Em virtude do seu modo de operação, a MA dispõe uma elevada capacidade para impressão de geometrias complexas, assim sendo, de grande uso para diversas áreas (SILVA; MAIA, 2014). Relativo às órteses, há duas áreas de órteses no mercado atual: a pré-fabricada, que oferece pronta-entrega, e a personalizada, que demonstra uma melhor aceitação do paciente, mostrando uma resposta mais satisfatória ao tratamento. O grande potencial da MA está em facilitar o processo de fabricação de órteses personalizadas de uma maneira mais rápida e com um menor custo. (CHEN et al., 2016; KIM et al., 2018) realizaram testes, colocando a prova órteses de punho, uma impressa em 3D e uma órtese pré-fabricada, durante uma semana em pacientes distintos. Os dois pacientes mostraram melhoras em relação às dores, sendo a órtese impressa se saindo melhor em designer e peso.

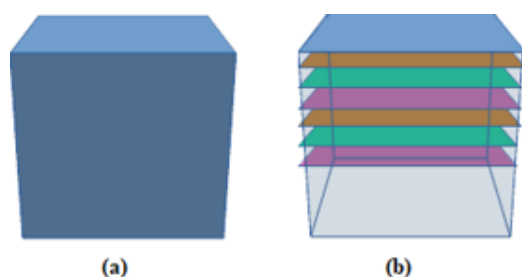


Figura 1: Exemplo do processo de fatiamento: (a) Cubo sólido; e (b) Cubo fatiado dividido em camadas.

Por último, há necessidade de discussão dos *softwares* de modelagem em MA. Um *software* CAD (do inglês *Computer - Aided Design*) ou projeto de desenho assistido por computador (CADD), é uma ferramenta de desenho computacional amplamente usada para facilitar desenhos bidimensionais (2D) e modelagens tridimensionais (3D). O *software* CAD Fusion 360, em sua versão gratuita para estudantes, fornecido pela empresa Autodesk (AUTODESK, 2026a), foi empregada neste trabalho. Após a modelagem 3D, ocorre

o processo de fatiamento (VOLPATO, 2017) ilustrado na Figura 1 onde um modelo 3D pode ser representado em fatias ou camadas concatenadas de modelos 2D. No processo de MA, sobre uma camada impressa há a deposição sucessiva de outras camadas até o modelo 3D ser gerado. Neste trabalho, o processo de fatiamento foi realizado pelo *software* Ultimaker Cura (ULTIMAKER, 2026).

Relativo ao padrão de impressão empregado para o desenvolvimento de órteses, (SILVA; XAVIER; BENTO, 2013) mostraram a economia de matéria prima ao usar o formato colmeia hexagonal em mosaicos regulares em uma estrutura planar utilizando o menor número de arestas ao se construir uma geometria. Baseado em dados da pesquisa de (GARCIA, 2018), que realizou ensaios de flexão em diversos materiais para impressão FDM, optou-se pelo PLA com mosaicos hexagonais para a elaboração de estrutura planar para o desenvolvimento de órteses neste trabalho.

Assim, neste trabalho alia-se a MA no processo de fabricação de protótipo de órtese de punho. O processo inicia-se com a obtenção geométrica de um formato de punho através de gesso e sua posterior planificação. Em seguida, o modelo planificado de punho é modelado computacionalmente e, posteriormente, impresso pelo método FDM. Por fim, por termoformagem o modelo impresso é moldado sobre o modelo de punho original obtendo uma estrutura simples, móvel e devidamente arejada.

MATERIAL E MÉTODOS

Um processo comum aplicado à modelagem de órteses foi descrito no trabalho de (ARCE; FOGGIATTO, 2017), onde realizou inicialmente a aquisição anatômica desejada por meio de gesso que foi, posteriormente, digitalizada por um *scanner* 3D. A malha 3D gerada foi editada pelo *software* CAD MeshMixer (AUTODESK, 2026b) tornando o modelo apto para ser impresso. Porém, Nesta metodologia há o aumento no uso de material e o tempo de impressão pela necessidade suportes para a impressão 3D da peça conforme ilustrado na impressão de uma peça n Figura 2 destacado na tonalidade em azul claro.

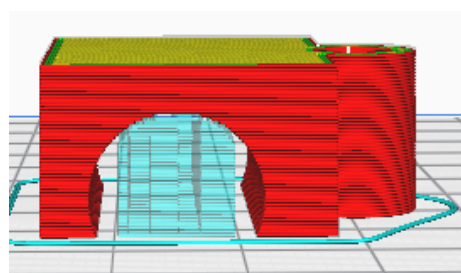


Figura 2: Exemplo de suporte em peça 3D.

A impressão planificada de órtese, objeto



deste trabalho, permite a economia de material, pois após a impressão ela é posta em banho-maria digital, onde a estrutura é aquecida de modo gradual, homogênea e controlada, e por processo de termoformagem ela é ajustada à região a ser imobilizada obtendo-se o seu contorno de volume sobre a área desejada. Optou-se pelo banho-maria digital ao invés de um soprador térmico, pois a água tem uma maior condutibilidade térmica que o ar, sendo que com a imersão do material, tem-se uma maior superfície de contato e melhor controle de temperatura por controle digital.

Termoformagem é o processo em que a superfície de um termoplástico é alterada, conforme um molde, feito através do amolecimento do material, como ilustrada na figura 3. São divididos em moldes positivos e negativos que dependem do estudo e da estrutura a ser analisada. Neste trabalho utilizado um molde positivo (BELOFSKY, 1995).

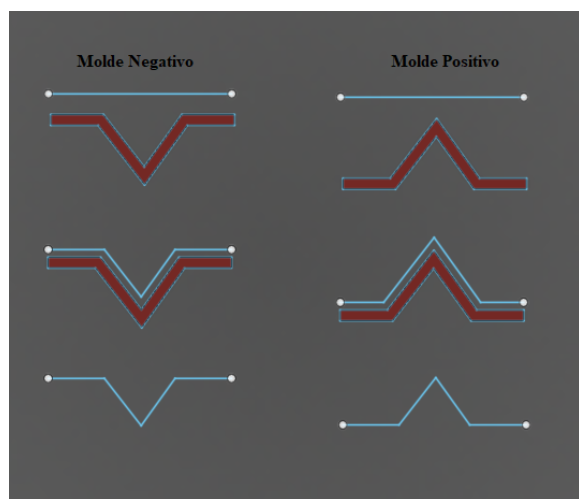


Figura 3: Exemplo de molde negativo e positivo do método de termoformagem.

Para fabricação do protótipo de órtese foi realizado um estudo da dilatação térmica do PLA para verificação da sua viabilidade do seu emprego neste estudo. Para se verificar o efeito da deformação térmica do PLA por termoformagem no protótipo de órtese, 9 estruturas planares impressas de 20 × 20 centímetros (cm) e em 3 diferentes espessuras de 1, 2 e 3 milímetros (mm) foram empregadas. As arestas das arestas hexagonais foram definidas com 3 mm de comprimento. Na Figura 4 visualizam-se algumas das estruturas planares empregadas. Testes foram realizados em um banho-maria digital com 6 litros de água, mantendo-se a temperatura constante. Foram realizadas medidas do comprimento, largura e espessura das estruturas planares antes e após o ensaio para relacionar o tempo e a temperatura do ensaio com a dilatação do material.

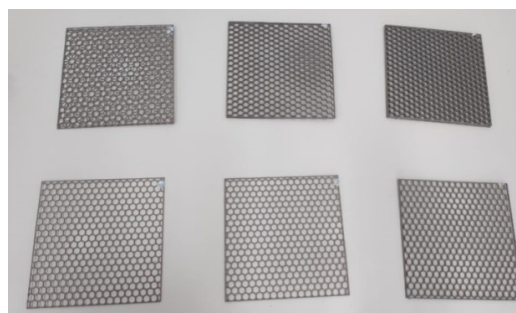


Figura 4: Algumas das estruturas empregadas no ensaio de dilatação.

Os resultados da dilatação das estruturas planares são apresentados na Tabela 1. Analisando-se os dados em função do tempo e da temperatura, verificou-se que a dilatação do PLA foi mínima nas estruturas planares analisadas, assim, conclui-se que não há necessidade de se compensá-las ou fazer qualquer tipo de alteração devido à dilatação térmica do material e, consequentemente, não prejudicando variações no tamanho da órtese após sua termoformagem.

Como modelo de órtese foi empregada uma estrutura anatômica de um punho gessado criada empregando-se uma atadura gessada. Para criação do molde a atadura foi molhada e colocada sobre a geometria desejada. O modelo gessado pode ser visto na Figura 5. Para a planificação da geometria de gesso foram feitos recortes nas principais dobras e a mesma foi imersa em água e achatada. O resultado pode ser visto na Figura 6. A atadura planificada foi escaneada por um *scanner* de impressora multifuncional, e a partir da imagem obtida, foi construído um modelo tridimensional, por meio do *software* Fusion 360. Neste processo não houve a necessidade de emprego de um *scanner* 3D o que tornou o processo mais simples. O modelo obtido pode ser visto na Figura 7.



Figura 5: Atadura gessa, planificada utilizada para realizar a obtenção geométrica de um punho.

Tabela 1: Dado dos testes realizados sobre dilatação térmica em milímetros (MM) em PLA para: x sendo largura; y sendo comprimento; e z sendo espessura.

Grupos	Coordenada	Original (mm)	5 minutos a 55,9°C	20 minutos a 59,0°C	40 minutos a 63,0°C	60 minutos a 68,0°C
1 mm	x	195,80	197,31	196,86	196,51	195,88
	y	200,20	198,00	197,66	197,00	196,40
	z	1,06	1,09	1,05	1,11	1,14
2 mm	x	198,96	196,77	197,11	196,00	195,32
	y	200,24	198,00	198,10	197,00	196,84
	z	1,95	1,96	1,93	2,01	2,07
3 mm	x	198,67	198,20	196,90	196,00	195,25
	y	199,80	197,00	197,64	197,00	197,00
	z	3,07	3,13	3,08	3,13	3,06



Figura 6: Atadura gessa, planificada utilizada para realizar a obtenção geométrica de um punho.

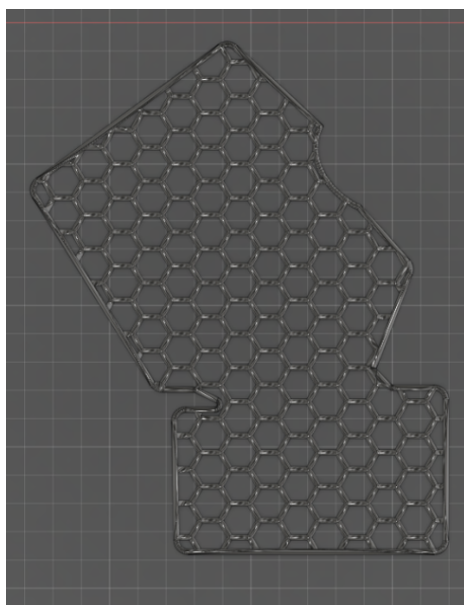


Figura 7: Protótipo de órtese para punho, desenhada no software Fusion 360.

O Fusion 360 gera um arquivo com extensão

“STL”, formato padrão para impressões 3D que permite o processo de fatiamento pelo Ultimaker Cura cujas configurações principais adotadas foram: preenchimento de 20%, velocidade de 60 mm/s e altura de camada 0,3 mm. Com o modelo computacional pronto, usou-se PLA com tecnologia FDM para impressão.

O modelo impresso em PLA foi levado a banho-maria por dez minutos a uma temperatura de 60 °C. Depois de retirado do banho-maria foi diretamente levada à geometria em formato de punho, de modo a moldar a peça em seu formato definitivo conforme Figura 8.



Figura 8: Órtese de punho impressa em 3D, moldada termicamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A obtenção da forma geométrica da órtese por meio de atadura gessada (Figura 5) para posterior geração de geometria planificada (Figura 6) e a criação de modelo computacional (Figura 7) para impressão 3D, possibilitou a impressão de uma geometria para criação de uma órtese personalizada (Figura 8) por termoformagem. A obtenção de forma geométrica de gesso foi devido a sua facilidade de manuseio e viabilidade econômica visto que é facilmente encontrada no mercado aliado ao fato da dificuldade de acesso a um scanner



REFERÊNCIAS

3D. Para criação do protótipo, foram gastos 23 gramas de PLA e a impressão levou cerca de 1 hora e 30 minutos. O pouco material e o breve tempo de impressão foram decorrentes da impressão planar, já que não foi necessária a impressão de suportes necessários a impressões de geometrias complexas. No processo de moldagem, a termoformagem aqueceu o material de forma única possibilitando que a impressão se moldasse a forma desejada de punho. Por ser um processo que envolve alta temperatura, cuidados devem ser adotados se a superfície de interesse for sensível à temperatura da ordem de 60 °C. Meios de proteção podem ser adotados como o uso de um isolante térmico de fina espessura para ser utilizado entre a superfície de interesse e o molde termo aquecido.

Outro aspecto interessante desta técnica é que como a impressão 3D é feita pelo depósito de camadas, sua superfície não é totalmente lisa permitindo que o protótipo final possua uma boa aderência à superfície de contato da região de interesse. Em relação ao material empregado, o protótipo em PLA mostrou-se resistente a quedas cotidianas, tendo uma fácil higienização sendo a estrutura hexagonal vazada boa para circulação de ar.

CONCLUSÃO

O uso da tecnologia como ferramenta, auxiliando o ser humano é importante para o bem-estar de pessoas com dificuldade física, como já havia dito Mary Pat Radabaugh (RADABAUGH, 1993): “Para as pessoas sem deficiência, a tecnologia torna as coisas mais fáceis. Para as pessoas com deficiência, a tecnologia torna as coisas possíveis”. Assim, a MA torna-se um meio acessível para produção de órteses personalizadas, principalmente em tratamento gradativo onde o processo de termoformagem permite o ajuste da órtese conforme a situação do indivíduo vá evoluindo. As estruturas planares foram desenvolvidas com padrões hexagonais vazadas de 3 mm de aresta em formato de colmeia para reduzir a quantidade de PLA empregado, mas mantendo a sua rigidez e resistência. Isso resultou não só em economia de material, mas também resultaria em maior conforto devido ao menor contato da estrutura com a pele de um possível indivíduo possibilitando uma maior ventilação no local. Como trabalhos futuros sugere-se o emprego de outros materiais além de avaliar a produção de órteses para outras partes do corpo humano.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com apoio do BIOPARK - Parque Científico e Tecnológico de Biociências, firmado pelo acordo de cooperação nº 005/2019 FUNTEF-PR/UTFPR/BIOPARK.

ARCE, R. P.; FOGGIATTO, J. A. Modelagem de órteses para fabricação por manufatura aditiva. 9º Congresso Brasileiro de Engenharia e Fabricação, Joinville, p. 1–8, 2017.

AUTODESK. *Software CAD para arquitetos, engenheiros e projetistas*. 2026. Acesso em: 17 de junho de 2026. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/br/solutions/cad-software>>.

AUTODESK. *Software Meshmizer*. 2026. Acesso em: 17 de junho de 2026. Disponível em: <<https://meshmixer.org/>>.

BELOFSKY, H. *Plastics: Product Design and Process Engineering*. New York: Hanser Pub Inc, 1995.

CHEN, R. K. et al. Additive manufacturing of custom orthoses and prostheses—a review. *Additive Manufacturing*, v. 12, p. 77–89, 2016. ISSN 2214-8604. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214860416300550>>.

CHHIKARA, K. et al. Progress of additive manufacturing in fabrication of foot orthoses for diabetic patients: A review. *Annals of 3D Printed Medicine*, v. 8, p. 100085, 2022. ISSN 2666-9641. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266696412200039X>>.

DUARTE, L. da C. *Impressão 3D: uma alternativa para fabricação de dispositivos analíticos miniaturizados*. Dissertação (Mestrado Química) — Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, agosto 2016.

FERRARI, A. L. M.; SANTOS, A. D. P. dos; MEDOLA, F. O. Tecnologias de manufatura aditiva aplicadas à produção de órteses. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 15, n. 38, 2019.

GARCIA, M. das G. C. *Análise experimental de deformações em órteses de membro superior fabricadas por manufatura aditiva*. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Mecânica e de Materiais) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2018.

IBGE. *Censo 2022: Brasil tem 14,4 milhões de pessoas com deficiência*. 2022. Acesso em: 17 de junho de 2026. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/43463-censo-2022-brasil-tem-14-4-milhoes-de-pessoas-com-deficiencia>>.



JAN, Z. et al. Design and analysis of wrist hand orthosis for carpal tunnel syndrome using additive manufacturing. *Journal of Engineering Research*, v. 13, n. 2, p. 643–651, 2025. ISSN 2307-1877. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2307187723003346>>.

KIM, S. J. et al. Effect of personalized wrist orthosis for wrist pain with three-dimensional scanning and printing technique: A preliminary, randomized, controlled, open-label study. *Prosthetics and orthotics international*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 42, n. 6, p. 636–643, 2018.

KUMAR, V.; GUPTA, P.; PRATIHAR, D. K. Chapter 4 - advancing ankle–foot orthosis design through bio-mechanics, robotics, and additive manufacturing: A review. In: IQBAL, F. et al. (Ed.). *Biomedical Robots and Devices in Healthcare*. Academic Press, 2025, (Medical Robots and Devices: New Developments and Advances). p. 65–84. ISBN 978-0-443-22206-1. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780443222061000061>>.

NETO, C. L. de B. G. (Ed.). *Tecnologia 3D na saúde: uma visão sobre Órteses e Próteses, Tecnologias Assistivas e Modelagem 3D*. Rio Grande do Norte: Editora da UFRN, 2018.

PORTELA, S. *Tipos de filamentos: comparativo dos principais da impressão 3D*. 2026. Acesso em: 17 de junho de 2026. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/tipos-de-filamentos-para-impressoras-3d/>>.

RADABAUGH, M. P. *Study on the Financing of Assistive Technology Devices and Services*

for Individuals with Disabilities: A Report to the President and the Congress of the United States. Washington, DC, 1993. Disponível em: <<https://www.ncd.gov/report/study-on-the-financing-of-assistive-technology-devices-and-services-for-individuals-with-disabilities/>>.

SAÚDE, M. da. *Guia - Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção*. 2019. Acesso em: 17 de junho de 2026. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/s/saude-da-pessoa-com-deficiencia/publicacoes/guia-para-prescricao-concessao-adaptacao-e-manutencao-de-orteses-proteses-e-meios-auxiliares-de-locomocao.pdf/view>>.

SILVA, J. d.; MAIA, I. A. Desenvolvimento de dispositivos de tecnologia assistiva utilizando impressão 3D. *Anais do 1º Simpósio Internacional de Tecnologia Assistiva*, 2014.

SILVA, R. A.; XAVIER, C. S. F.; BENTO, A. N. S. Explorando o formato hexagonal dos favos de mel das abelhas na sala de aula de matemática. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA. *Anais do encontro nacional de educação matemática*. Curitiba, Brasil, 2013.

ULTIMAKER. *UltiMaker Cura*. 2026. Acesso em: 17 de junho de 2026. Disponível em: <<https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>>.

VOLPATO, N. (Ed.). *Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D*. São Paulo: Ed. Blucher, 2017.