

REVISÃO DE LITERATURA: IMPRESSÃO 3D NO TRATAMENTO DE FRATURAS, BENEFÍCIOS, LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS PARA A ORTOPEDIA

Isabella Ramalho Maia de Araújo¹

Fábio Lopes Telles²

RESUMO: A impressão tridimensional (3D) tem se mostrado uma tecnologia promissora no tratamento de fraturas complexas, permitindo maior precisão no planejamento e na execução cirúrgica. Esta revisão narrativa analisou publicações entre 2015 e 2025 nas bases PubMed e BVS, totalizando 91 estudos sobre o tema. Os resultados apontaram benefícios como redução do tempo cirúrgico, menor exposição à radiação e maior acurácia na fixação de fraturas. As principais limitações envolvem o alto custo, o tempo de confecção dos modelos e a falta de padronização dos protocolos. Conclui-se que a impressão 3D é uma ferramenta inovadora e eficaz, mas sua ampla aplicação ainda depende da redução de custos e da capacitação profissional.

Palavras chaves: 3D printing and patient-specific instrument and fracture.

ABSTRACT: Three-dimensional (3D) printing has proven to be a promising technology in the treatment of complex fractures, allowing greater precision in both surgical planning and execution. This narrative review analyzed publications from 2015 to 2025 in the PubMed and BVS databases, totaling 91 studies on the topic. The results indicated benefits such as reduced surgical time, lower radiation exposure, and higher accuracy in fracture fixation. The main limitations include high implementation costs, model fabrication time, and lack of standardized protocols. It is concluded that 3D printing is an innovative and effective tool; however, its widespread adoption still depends on cost reduction and professional training.

5740

Keywords: 3D printing and patient-specific instrument and fracture.

I. INTRODUÇÃO

As fraturas complexas representam um dos maiores desafios na ortopedia moderna, especialmente quando envolvem múltiplos fragmentos ósseos ou articulações. A precisão na redução e a estabilidade da fixação são determinantes para o prognóstico funcional do paciente. Métodos convencionais de planejamento cirúrgico, embora eficazes, frequentemente apresentam limitações em termos de previsibilidade anatômica e adequação individualizada dos implantes (Ventola, 2014).

¹Discente de Medicina, Universidade de Vassouras.

²Orientador: médico Residência em ortopedia e traumatologia (Santa Casa de Barra Mansa), Mestrado em Ciências Fisiológicas (Sociedade Brasileira de Fisiologia - UFRRJ). Universidade de Vassouras.

Nos últimos anos, a impressão tridimensional (3D) emergiu como uma ferramenta inovadora capaz de transformar a prática ortopédica. Essa tecnologia permite a criação de modelos anatômicos personalizados, guias cirúrgicos e implantes sob medida, otimizando o planejamento pré-operatório e a execução intraoperatória (Martelli et al., 2022; Tack et al., 2023). Tais avanços têm demonstrado ganhos concretos, como redução do tempo cirúrgico, maior acurácia e menor exposição à radiação (Fontoura et al., 2021).

Contudo, sua implementação ainda enfrenta desafios estruturais e econômicos, principalmente em países com sistemas públicos de saúde, como o do Brasil. Assim, compreender o real impacto dessa tecnologia requer uma análise crítica que considere não apenas seus benefícios técnicos, mas também suas implicações clínicas, éticas e econômicas. Esta revisão tem como objetivo analisar o papel da impressão 3D no tratamento de fraturas, destacando seus benefícios, limitações e perspectivas de aplicação na ortopedia contemporânea.

2. METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, de caráter exploratório e analítico, desenvolvida entre janeiro e março de 2025. A busca bibliográfica foi realizada nas bases PubMed e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), abrangendo o período de 2015 a 2025. Foram utilizados os descritores “3D printing”, “patient-specific instrument” e “fracture”, combinados por operadores booleanos (AND/OR).

5741

Critérios de inclusão:

Estudos originais, ensaios clínicos, observacionais e revisões sistemáticas;

Pesquisas que abordassem o uso da impressão 3D no planejamento ou na execução de cirurgias ortopédicas relacionadas a fraturas;

Publicações em inglês, português ou espanhol, disponíveis na íntegra.

Critérios de exclusão:

Estudos com modelos animais ou aplicações veterinárias;

Trabalhos voltados apenas à educação médica sem aplicação clínica.

Após a triagem, 91 artigos foram incluídos para análise qualitativa. Os dados foram organizados segundo três eixos: benefícios clínicos, limitações e perspectivas de incorporação.

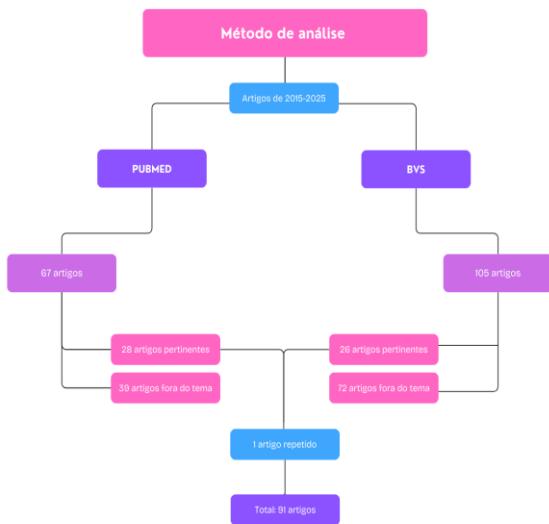


figura 1

3. RESULTADOS

Os estudos revisados apontam resultados consistentes em favor do uso da impressão 3D no tratamento de fraturas complexas. Entre os principais benefícios, destacam-se:

Redução do tempo cirúrgico (20% a 40%), atribuída ao planejamento prévio detalhado e à simulação de osteossíntese; 5742

Menor exposição à radiação intraoperatória, com redução da dependência de fluoroscopia;

Menor perda sanguínea e redução de complicações neurovasculares, pela maior precisão anatômica;

Acurácia superior na adaptação de implantes, sobretudo em fraturas articulares do acetábulo, rádio distal e tornozelo;

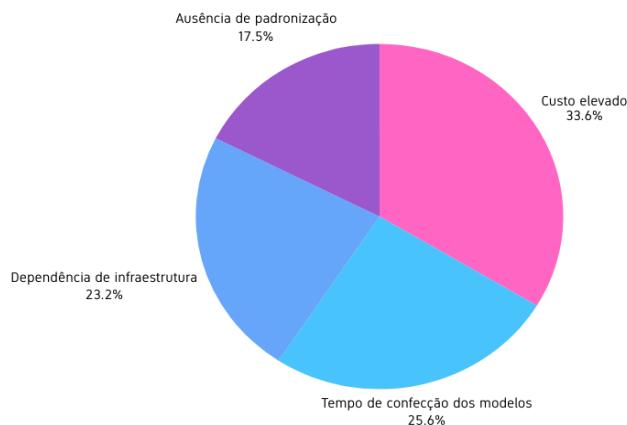
Aprimoramento da comunicação entre equipe e paciente, facilitando a compreensão do procedimento cirúrgico.

Contudo, também foram evidenciadas limitações importantes, como o alto custo de implementação, a necessidade de infraestrutura tecnológica especializada e o tempo de produção dos modelos (24–72 horas), que restringem o uso em contextos emergenciais. Além disso, a ausência de padronização metodológica dificulta a comparação entre estudos e a formulação de diretrizes clínicas universais (Giannetti et al., 2022).

FRÉQUENCIA DE BENEFÍCIOS RELATADOS



FRÉQUENCIA DE LIMITAÇÕES RELATADAS



5743

4. DISCUSSÃO

Os resultados confirmam que a impressão 3D constitui uma inovação de impacto na ortopedia, com impacto direto na eficiência e na segurança cirúrgica (Choy et al., 2021; Wong & Scheinemann, 2020). Entretanto, mais do que descrever benefícios, é necessário discutir as implicações práticas e estruturais da sua adoção em diferentes contextos hospitalares.

Em hospitais privados, a tecnologia tem sido incorporada de modo crescente, favorecida por maior capacidade de investimento e acesso a softwares de engenharia biomédica. Já no Sistema Único de Saúde (SUS), sua implementação ainda é limitada, principalmente pelo custo elevado de impressoras e materiais biocompatíveis, que podem ultrapassar R\$ 300 mil por unidade (Fontoura et al., 2021).

Adicionalmente, a curva de aprendizado técnico e a escassez de profissionais capacitados em modelagem 3D dificultam sua aplicação ampla. A integração entre médicos, engenheiros e técnicos biomédicos surge, portanto, como requisito essencial para o avanço da prática (Martelli et al., 2022).

Do ponto de vista ético e econômico, a democratização da impressão 3D exige políticas públicas que promovam centros de fabricação compartilhada e a redução de custos via parcerias com universidades e instituições de pesquisa.

Assim, o futuro da impressão 3D na ortopedia está condicionado não apenas à evolução tecnológica, mas à sua viabilidade socioeconômica e institucional, especialmente em contextos de saúde pública.

5. CONCLUSÃO

5744

A impressão 3D tem se consolidado como uma ferramenta de alto impacto na ortopedia, especialmente no tratamento de fraturas complexas, ao oferecer maior precisão, previsibilidade e segurança cirúrgica. Contudo, sua incorporação rotineira ainda é limitada por fatores econômicos, técnicos e estruturais.

Conclui-se que, para que essa tecnologia se torne parte integral da prática clínica, são necessários três eixos de avanço: redução dos custos, capacitação multiprofissional e padronização metodológica. O fortalecimento dessas áreas poderá transformar a impressão 3D de um recurso restrito a centros de referência em uma prática acessível, ética e eficiente, contribuindo para a evolução da ortopedia no Brasil e no mundo.

REFERÊNCIA

- ADAMS, S. B.; BROWN, M.; CUSH, G. Use of 3D-Printed Implants in Complex Foot and Ankle Reconstruction. *Journal of Orthopaedic Trauma*, v.38, n.4S, p.S17–S22, 2024.
- BAEK, S. H.; WON, H.; KIM, C. H.; KIM, D. H.; YOON, J. W.; KIM, S. Y. Precontoured Plate Fixation for Incomplete Atypical Diaphyseal Fracture of Femur using Three-Dimensional Printing Rapid Prototyping: Two Cases Reports. *Orthopaedic Surgery*, v.13, n.1, p.353, 2021.

BURNARD, J. L.; PARR, W. C. H.; CHOY, W. J.; WALSH, W. R.; MOBBS, R. J. 3D-printed spine surgery implants: a systematic review of the efficacy and clinical safety profile of patient-specific and off-the-shelf devices. *European Spine Journal*, 2019.

CAMPANA, V.; CARDONA, V.; VISIMARA, V.; MONTELEONE, A. S.; PIAZZA, P.; MESSINESE, P.; et al. 3D printing in shoulder surgery. *Orthopedic Reviews*, 2020.

CAPUCHA, T.; SHILO, D.; BLANC, O.; TURGEMAN, S.; EMODI, O.; RACHMIEL, A. 3D Planning and Printing of Patient Specific Implants for Reconstruction of Bony Defects. *Journal of Visualized Experiments*, n.162, 2020.

CHEN, Y.; ZHANG, B. 3D printing-assisted total hip arthroplasty and internal fixation for the treatment of fresh acetabular fracture and femoral head necrosis: A case report. *Medicine*, 2023.

CLEMENS, V.; STEIMER, D.; BRUNS, N.; GÄNSSLEN, A.; MELLER, R. Patient specific implants and instruments in orthopaedic trauma: 3D prints and implants in pelvic and hip fractures. *Unfallchirurgie* (Heidelberg, Germany), v.128, n.5, p.351, 2025.

CORONA, P. S.; VICENTE, M.; TETSWORTH, K.; GLATT, V. Preliminary results using patient-specific 3D printed models to improve preoperative planning for correction of post-traumatic tibial deformities with circular frames. *Injury*, v.49, supl., p.S51, 2018.

CRAMER, C.; SPERLICH, S.; HÄTTICH, A.; DUST, T.; FROSCH, K. H.; MADER, K. Patientenspezifische 3D-Druck-Implantate und -Schablonen für Ellenbogen und Unterarm. *Deleted Journal*, 2025.

5745

DEKKER, T. J.; STEELE, J. R.; FEDERER, A. E.; HAMID, K. S.; ADAMS, S. B. Use of Patient-Specific 3D-Printed Titanium Implants for Complex Foot and Ankle Limb Salvage, Deformity Correction, and Arthrodesis Procedures. *Foot & Ankle International*, v.39, n.8, p.916, 2018.

DENG, T.; JIANG, M.; LEI, Q.; CAI, L.; CHEN, L. The accuracy and the safety of individualized 3D printing screws insertion templates for cervical screw insertion. *Computer Assisted Surgery*, v.21, n.1, p.143, 2016.

DURAND-HILL, M.; HENCKEL, J.; DI LAURA, A.; HART, A. J. Can custom 3D printed implants successfully reconstruct massive acetabular defects? A 3D-CT assessment. *Journal of Orthopaedic Research*, v.38, n.12, p.2640, 2020.

DURUSOY, S. Do three-dimensional modeling and printing technologies have an impact on the surgical success of percutaneous transsacral screw fixation? *Joint Diseases and Related Surgery*, v.31, n.2, p.273, 2020.

EASTER, T. G.; BILMONT, A.; PINK, J.; OXLEY, B. Accuracy of three-dimensional printed patient-specific drill guides for treatment of canine humeral intracondylar fissure. *Veterinary Surgery*, v.49, n.2, p.363, 2019.

FANG, C.; CAI, H.; KUONG, E.; CHUI, E.; SIU, Y. C.; JI, T.; et al. Surgical applications of three-dimensional printing in the pelvis and acetabulum: from models and tools to implants. *Der Unfallchirurg*, v.122, n.4, p.278, 2019.

FANG, C.; CAI, L.; CHU, G.; JARAYABHAND, R.; KIM, J. W.; O'NEILL, G. 3D printing in fracture treatment: Current practice and best practice consensus. *Der Unfallchirurg*, v.125, n.5, p.342, 2022.

FANG, C.; CAI, L.; CHU, G.; JARAYABHAND, R.; KIM, J. W.; O'NEILL, G. 3D printing in fracture treatment. *Die Unfallchirurgie*, v.125, supl.1, p.1–7, 2022.

FELTZ, K. P.; VANDERWOLDE, B.; CHONG, A.; YAN, A.; SKELLEY, N. W. 3D-Printed One-Third Tubular Plates in an Ankle Fracture Model: A Biomechanical Study. *The Iowa Orthopaedic Journal*, v.45, n.1, p.231, 2025.

GAO, F.; WANG, C.; HU, Y.; SU, S.; QI, J.; ZHONG, D. Clinical application of split three-dimensional printing patient-specific instrumentation in medial open-wedge high tibial osteotomy. [Periódico não informado], v.35, n.9, p.1119, 2021.

HAMID, K. S.; PAREKH, S. G.; ADAMS, S. B. Salvage of Severe Foot and Ankle Trauma With a 3D Printed Scaffold. *Foot & Ankle International*, v.37, n.4, p.433–439, 2016.

HOEKSTRA, H.; ROSSEELS, W.; SERMON, A.; NIJS, S. Corrective limb osteotomy using patient specific 3D-printed guides: A technical note. *Injury*, v.47, n.10, p.2375, 2016.

JIANMONGKOL, S.; VINITPAIROT, C. The 3D-Printed Titanium Truss Cage for the Treatment of Concurrent Complex Malunion, Synostosis and Large Bone Defect Following Forearm Injuries: A Case Report. *The Journal of Hand Surgery (Asian-Pacific Volume)*, v.28, n.2, p.292, 2023. 5746

JING, S.; YU, A.; DONG, S.; LIU, J.; ZHANG, W.; XIANG, Y. 3D-printed prosthesis for traumatic trapezium bone defect: a case report. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, v.182, 2025.

KADAKIA, R. J.; AKOH, C. C.; CHEN, J.; SHARMA, A.; PAREKH, S. G. 3D Printed Total Talus Replacement for Avascular Necrosis of the Talus. *Foot & Ankle International*, v.41, n.12, p.1529, 2020.

KADAKIA, R. J.; WIXTED, C. M.; KELLY, C. N.; HANSELMAN, A. E.; ADAMS, S. B. From Patient to Procedure: The Process of Creating a Custom 3D-Printed Medical Device for Foot and Ankle Pathology. *Foot & Ankle Specialist*, 2020.

KIESER, D. C.; AILABOUNI, R.; KIESER, S. C. J.; WYATT, M. C.; ARMOUR, P. C.; COATES, M. H.; et al. The use of an Ossis custom 3D-printed tri-flanged acetabular implant for major bone loss: minimum 2-year follow-up. *HIP International*, v.28, n.6, p.668, 2018.

LAL, H.; PATRALEKH, M. K. 3D printing and its applications in orthopaedic trauma: A technological marvel. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, v.9, n.3, p.260, 2018.

LEE, K. H.; KIM, S. J.; CHA, Y. H.; KIM, J. L.; KIM, D. K.; KIM, S. J. Three-dimensional printed prosthesis demonstrates functional improvement in a patient with an amputated thumb. *Prosthetics & Orthotics International*, v.42, n.1, p.107–111, 2018.

LI, C.; ZHANG, B.; LIU, X.; LI, H.; ZHANG, J.; WU, M. Effectiveness of digital three-dimensional printing osteotomy guide plate assisted total knee arthroplasty in treatment of knee osteoarthritis patients with femoral internal implant. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, v.39, n.2, p.151, 2025.

LIODAKIS, E.; BRUNS, N.; MACKE, C.; KRETTEK, C.; OMAR, M. 3D-printed template-assisted reduction of long bone fractures. *Der Unfallchirurg*, v.122, n.4, p.286, 2019.

MARONGIU, G.; PROST, R.; CAPONE, A. Use of 3D modelling and 3D printing for the diagnostic process, decision making and preoperative planning of periprosthetic acetabular fractures. *BMJ Case Reports*, v.13, n.1, e233117, 2020.

MCANENA, A. P.; MCCLENNEN, T.; ZHENG, H. Patient-Specific 3-Dimensional-Printed Orthopedic Implants and Surgical Devices Are Potential Alternatives to Conventional Technology But Require Additional Characterization. *Clinics in Orthopedic Surgery*, v.17, n.1, p.1, 2024.

MOLDOVAN, F.; GLIGOR, A.; BATAGA, T. Integration of Three-dimensional Technologies in Orthopedics: A Tool for Preoperative Planning of Tibial Plateau Fractures. *Acta Informatica Medica*, v.28, n.4, p.278, 2020.

MO, S.; LEUNG, S. H. S.; CHAN, Z. Y. S.; SZE, L. K. Y.; MOK, K. M.; YUNG, P. S. H.; et al. The biomechanical difference between running with traditional and 3D printed orthoses. *Journal of Sports Sciences*, v.37, n.19, 2019. 5747

NIE, W.; GU, F.; WANG, Z.; WU, R.; YUE, Y.; SHAO, A. Preliminary application of three-dimension printing technology in surgical management of bicondylar tibial plateau fractures. *Injury*, v.50, n.2, p.476, 2019.

OXLEY, B.; BEHR, S. Stabilisation of a cranial cervical vertebral fracture using a 3D-printed patient-specific drill guide. *Journal of Small Animal Practice*, v.57, n.5, p.277, 2016.

OZTURK, A. M.; OZER, M. A.; SUER, O.; DERIN, O.; GOVSA, F.; AKTUGLU, K. Evaluation of the effects of using 3D-patient specific models of displaced intra-articular calcaneal fractures in surgery. *Injury*, v.53, supl.2, p.S40, 2022.

PARK, J. C.; KANG, H.; KIM, J. M.; KIM, H. S. New 3-dimensional implant application as an alternative to allograft in limb salvage surgery: a technical note on 10 cases. *Acta Orthopaedica*, v.91, n.4, p.489, 2020.

POUDEL, I.; ANNAJI, M.; ARNOLD, R. D.; KADDOUMI, A.; SHAMSAEI, N.; LEE, S.; et al. Dexamethasone Eluting 3D Printed Metal Devices for Bone Injuries. *Therapeutic Delivery*, v.11, n.6, p.373, 2020.

PRZĄDKA, M.; PAJĄK, W.; KLEINROK, J.; PEC, J.; MICHNO, K.; KARPIŃSKI, R.; et al. Advances in 3D Printing Applications for Personalized Orthopedic Surgery: From Anatomical Modeling to Patient-Specific Implants. *Journal of Clinical Medicine*, v.14, n.11, p.3989, 2025.

ROSSEELS, W.; HERTELEER, M.; SERMON, A.; NIJS, S.; HOEKSTRA, H. Corrective osteotomies using patient-specific 3D-printed guides: a critical appraisal. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, v.45, n.2, p.299, 2018.

SALABI, V.; RIGOULOT, G.; SAUTET, A.; CAMBON-BINDER, A. Three-dimensional-printed patient-specific Kirschner-wire guide for percutaneous fixation of undisplaced scaphoid fractures: a cadaveric study. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, v.44, n.7, p.692, 2019.

SMOCZOK, M.; STARSZAK, K.; STARSZAK, W. 3D Printing As a Significant Achievement for Application in Posttraumatic Surgeries - A Literature Review. *Current Medical Imaging*, v.16, n.6, 2020.

SUN, F.; SHI, T.; ZHOU, T.; DONG, D.; XIE, J.; WANG, R.; et al. 3D Poly(Lactic-co-glycolic acid) Scaffolds for Treating Spinal Cord Injury. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, v.13, n.3, p.290, 2017.

TOMAŽEVIĆ, M.; KRISTAN, A.; KAMATH, A. F.; CIMERMAN, M. 3D printing of implants for patient-specific acetabular fracture fixation: an experimental study. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, v.47, n.5, p.1297, 2021.

TRISOLINO, G.; MENOZZI, G. C.; DEPAOLI, A.; SCHMIDT, O. S.; RAVELLA, M.; VIOTTO, M.; et al. In Situ Fixation and Intertrochanteric Osteotomy for Severe Slipped Capital Femoral Epiphysis Following Femoral Neck Fracture: A Case Report with Application of Virtual Surgical Planning and 3D-Printed Patient-Specific Instruments. *Journal of Personalized Medicine*, v.15, n.1, p.13, 2025. 5748

WANG, X.; XU, H.; ZHANG, J. Using personalized 3D printed Titanium sleeve-prosthetic composite for reconstruction of severe segmental bone loss of proximal femur in revision total hip arthroplasty. *Medicine*, v.99, n.3, e18784, 2020.

WEI, Q.; LIU, C.; CHEN, S.; LIU, M. Customized Metal 3D Printed Total Wrist Prosthesis in the Treatment of Severely Destroyed Wrist: Design Rationale and Clinical Applications. *Orthopaedic Surgery*, 2025.

YEON, Y. K.; PARK, H. S.; LEE, J. M.; LEE, J. S.; LEE, Y. J.; SULTAN, M. T.; et al. New concept of 3D printed bone clip (polylactic acid/hydroxyapatite/silk composite) for internal fixation of bone fractures. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, v.29, n.7–9, p.894, 2018.

ZENG, C.; XING, W.; WU, Z.; HUANG, H.; HUANG, W. A combination of three-dimensional printing and computer-assisted virtual surgical procedure for preoperative planning of acetabular fracture reduction. *Injury*, v.47, n.10, p.2223, 2016.

ZHANG, H.; GUO, H. P.; XU, R. D.; DUAN, S. Y.; LIANG, H. R.; CAI, Z. C. Surgical treatment outcomes of acetabular posterior wall and posterior column fractures using 3D



printing technology and individualized custom-made metal plates: a retrospective study. *BMC Surgery*, 2024.

ZHANG, H.; MA, X.; LI, B.; LI, K.; LIU, Y.; ZHOU, J.; et al. Research progress of three-dimensional printed customized prosthesis and its application in acetabular reconstruction of hip revision surgery. [Periódico não informado], v.38, n.11, p.1414, 2024.

ZHENG, W.; TANG, J.; LI, J.; HUANG, J.; WANG, J.; XIAO, W.; et al. Complex primary total knee arthroplasty with constrained condylar knee in post-traumatic arthritis: a retrospective comparison between 3D-printed patient-specific instrumentation and conventional instrumentation. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 2025.