ISSN Impresso: 1809-8320
ISSN Online: 2675-2638
http://integracao.unifip.edu.br/
DOI: 10.61223/integrcao.v6i2.178

Avanços da impressão 3D no planejamento e análise cirúrgica de osteosarcomas: uma revisão integrativa

Advances in 3D Printing for the Surgical Planning and Analysis of Osteosarcomas: An Integrative Review

Ranufe Rafael de Oliveira Cardins Nogueira [1]***,***
Mariana Dutra Bezerra [2]***,***
Ana Clara Melo de Medeiros [3]***,***
Ailton do Nascimento Targino [4]

Resumo

O avanço das tecnologias tridimensionais tem transformado significativamente a prática cirúrgica em oncologia ortopédica, especialmente no manejo de osteossarcomas. Esta revisão integrativa teve como objetivo identificar e analisar as principais evidências científicas dos últimos dez anos acerca da aplicação da impressão 3D no planejamento e análise cirúrgica dessa neoplasia óssea. A busca foi conduzida nas bases de dados PubMed, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e SciELO, entre julho e setembro de 2025, utilizando os descritores “Printing, Three-Dimensional” e “Osteosarcoma”, combinados pelo operador booleano AND. Foram incluídos estudos em humanos, disponíveis em texto completo e gratuito, publicados entre 2015 e 2025, nos idiomas inglês, português ou espanhol. Dos 151 registros encontrados, 16 atenderam aos critérios de inclusão e foram analisados integralmente. Os resultados indicaram predominância de publicações voltadas ao uso da impressão 3D no planejamento cirúrgico personalizado e na reconstrução óssea com próteses customizadas, representando cerca de 50% dos estudos. Além disso, foram observados avanços em biomateriais e scaffolds bioativos voltados à regeneração tecidual e liberação controlada de fármacos. As principais vantagens relatadas incluem maior precisão nas ressecções tumorais, redução do tempo cirúrgico e melhor adaptação anatômica das próteses. Apesar dos resultados promissores, ainda persistem desafios quanto à padronização dos métodos, custos, validação multicêntrica e acompanhamento de longo prazo. Conclui-se que a impressão 3D se consolida como uma ferramenta estratégica e inovadora, capaz de integrar tecnologia, engenharia e medicina no tratamento de osteossarcomas.

Palavras-Chave: Impressão 3D. Osteossarcoma. Planejamento cirúrgico. Reconstrução óssea.

Abstract

Advances in three-dimensional technologies have significantly transformed surgical practice in orthopedic oncology, particularly in the management of osteosarcomas. This integrative review aimed to identify and analyze key scientific evidence from the last decade regarding the application of 3D printing in the surgical

Ranufe Rafael de Oliviera Cardins Nogueira. Acadêmica de medicina do Centro Universitário de Patos, Patos PB. E-mail: ranufenogueira@med.fiponline.edu.br. ORCID: 0009-0008-2265-4255

[2] Mariana Dutra Bezerra. Acadêmica de medicina do Centro Universitário de Patos, Patos PB. E-mail; marianabezerra@med.fiponline.edu.br. ORCID:0009-0000-6738-8597

[3] Ana Clara Melo de Medeiros. Acadêmica de medicina do Centro Universitário de Patos, Patos PB. E-mail: anamedeiros1@med.fiponline.edu.br ; ORCID: 0000-0002-7776-0548

[4] Ailton do Nascimento Targino. Mestre em Ciências da Saúde pela Faculdade de Medicina do ABC (FMABC) , Patos PB. E-mail: ailtontargino@fiponline.edu.br; ORCID: 0000-0001-9902-7091

planning and analysis of this bone neoplasm. The search was conducted in the PubMed, Virtual Health Library (VHL), and SciELO databases between July and September 2025, using the descriptors "Printing, Three-Dimensional" and "Osteosarcoma," combined with the Boolean operator AND. Studies involving humans, available in full text free of charge, published between 2015 and 2025 in English, Portuguese, or Spanish, were included. Of the 151 records found, 16 met the inclusion criteria and were analyzed in full. The results indicated a predominance of publications focused on the use of 3D printing for personalized surgical planning and bone reconstruction using custom prostheses, accounting for approximately 50% of the studies. Furthermore, advances were observed in biomaterials and bioactive scaffolds aimed at tissue regeneration and controlled drug delivery. Key reported advantages include greater precision in tumor resections, reduced surgical time, and improved anatomical fit of prostheses. Despite promising results, challenges remain regarding method standardization, costs, multicenter validation, and long-term follow-up. It is concluded that 3D printing is establishing itself as a strategic and innovative tool capable of integrating technology, engineering, and medicine in the treatment of osteosarcomas.

Keywords: 3D printing. Osteosarcoma. Surgical planning. Bone reconstruction.

INTRODUÇÃO

O osteossarcoma é a neoplasia óssea maligna primária mais comum em adolescentes e adultos jovens. Apesar dos avanços em quimioterapia e técnicas de preservação do membro, a ressecção oncológica com margens adequadas e a reconstrução funcional continuam sendo desafios significativos para a ortopedia oncológica. Recentemente, a tecnologia de impressão tridimensional (3D) emergiu como um importante recurso de apoio, possibilitando o desenvolvimento de modelos anatômicos personalizados, guias de corte adaptados ao paciente e endopróteses sob medida, com potencial para melhorar a precisão das ressecções e otimizar os resultados funcionais (Park et al., 2021).

Nos últimos anos, estudos clínicos em humanos e séries de caso-relato têm empregado guias de corte e modelos 3D para o planejamento de osteotomias complexas, moldagem de enxertos/alógrafos e orientação de margens de ressecção. A literatura sugere ganhos em precisão, menor erro de corte e melhorias em métricas operatórias, especialmente em regiões anatômicas desafiadoras como a pelve e o joelho (Elgamal et al., 2025). Ainda que algumas evidências sejam de curto a médio prazo e baseadas em desenhos observacionais, tais achados têm se mostrado consistentes entre diferentes centros e subsites anatômicos (Chu et al., 2024).

Além das aplicações reconstrutivas, as endopróteses personalizadas impressas em 3D têm sido utilizadas em reconstruções de grandes defeitos ósseos após ressecções tumoral, apresentando adaptação anatômica superior e possibilidade de modular porosidade/superfície para favorecer a osteointegração. Revisões recentes e pesquisas translacionais relatam estabilidade mecânica adequada e desfechos funcionais promissores em reconstruções de sacro, pelve e regiões periarticulares, embora ainda exista necessidade de padronizar protocolos de fabricação, esterilização e ampliar o acompanhamento para avaliar falhas tardias e complicações (Prządka et al., 2025).

Em síntese, a adoção da impressão 3D em ortopedia oncológica cresceu substancialmente na última década, com evidências crescentes de melhorias em precisão cirúrgica, planejamento e reconstrução personalizada. Entretanto, persistem lacunas metodológicas importantes — como tamanho amostral, controle comparativo, custo-efetividade e seguimento de longo prazo — o que justifica revisões integrativas e meta-análises atualizadas para sistematizar os resultados clínicos e apontar prioridades de pesquisa (Elgamal et al., 2025).

METODOLOGIA

As revisões integrativas da literatura são um tipo de revisão sistemática qualitativa, com a finalidade de reunir, sintetizar, examinar e avaliar criticamente estudos de diferentes naturezas teóricas, empíricas, experimentais ou observacionais sobre um tema específico, procurando obter interpretações abrangentes e generalizações sobre o conhecimento científico existente (De Sousa; Bezerra; Do Egypto, 2023). De acordo com Fossatti, Mozzato e Moretto (2019), a realização desse tipo de pesquisa abrange seis etapas fundamentais: definição do tema e da pergunta orientadora, definição dos critérios de inclusão e exclusão, busca e seleção dos estudos, categorização dos resultados, análise e interpretação dos dados e, finalmente, apresentação e síntese do conhecimento adquirido.

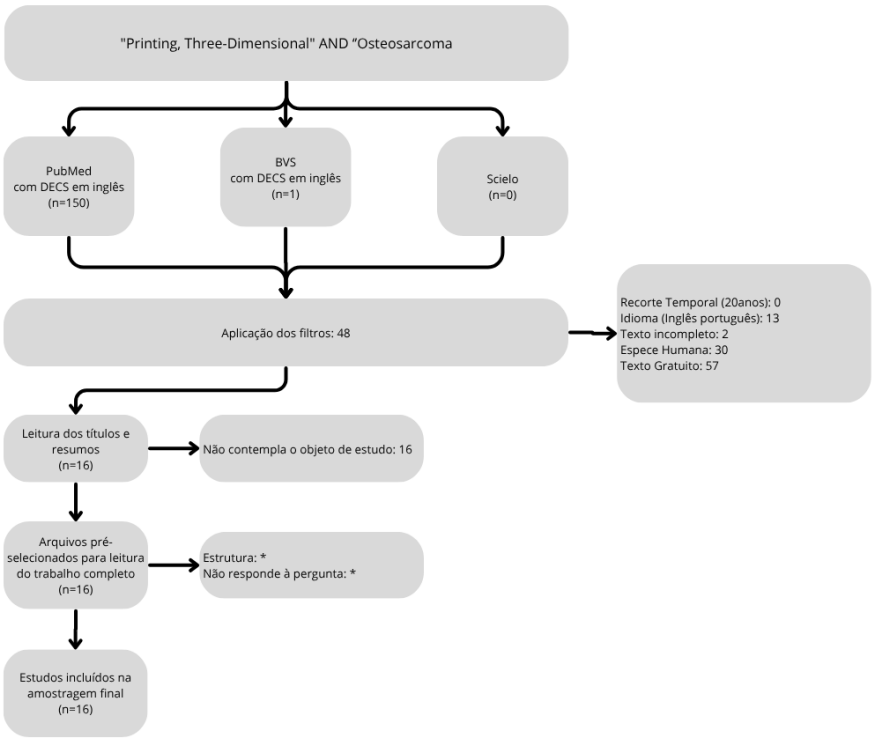
Assim, o tema definido para esta revisão foi “Avanços da impressão 3D no planejamento e análise cirúrgica de osteossarcomas: uma revisão integrativa”. A seguinte pergunta de pesquisa foi formulada: Quais são as evidências científicas mais recentes sobre a utilização da impressão 3D em osteossarcomas humanos no âmbito cirúrgico e reconstrutivo? Os descritores empregados foram escolhidos com base nos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS/MeSH). Em inglês, utilizou-se “Printing, Three-Dimensional” AND “Osteosarcoma”, combinando-os pelo operador booleano AND para aprimorar a pesquisa e localizar publicações relevantes para o objeto de estudo.

Os estudos foram conduzidos nas bases de dados PubMed, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e SciELO, durante os meses de julho a setembro de 2025. O processo de busca foi limitado a estudos publicados na última década, de 2015 a 2025, que estivessem disponíveis em texto completo e gratuito nos idiomas inglês, português ou espanhol. Esses estudos deveriam tratar especificamente do uso da impressão 3D no contexto clínico e reconstrutivo de osteossarcomas em humanos. Os artigos duplicados, estudos conduzidos em modelos animais, publicações sem acesso integral e aqueles que não abordavam a questão norteadora proposta foram excluídos.

A busca inicial resultou em um total de 151 registros, dos quais 150 foram encontrados da base PubMed, 1 da BVS e nenhum da SciELO. Após a aplicação dos filtros, que abrangeram recorte temporal, idioma, texto completo, espécie humana e acesso gratuito, permaneceram 48 estudos. Desses, 16 foram

excluídos por não atenderem ao objeto de estudo, ficando 16 artigos elegíveis para leitura completa e inclusão na amostra final. O Fluxograma 1, criado com base nas informações coletadas durante as etapas de busca e filtragem, ilustra o processo de triagem, seleção e inclusão dos estudos.

Figura 1: Fluxograma de seleção dos estudos



Fonte: Dados de pesquisa, 2025.

Dos artigos incluídos, foram extraídas informações como título, ano de publicação, autores, idioma, país, periódico e tipo de estudo. Em seguida, foi realizada a categorização que foi organizada em subcategorias como: Impressão como veículo de análise e preparação cirúrgica; métodos usados para boa utilização dos materiais provenientes da impressão tridimensional (3d). Após a leitura dos estudos, procederam-se à análise, discussão e interpretação dos conteúdos, implicando na construção da síntese da revisão.

RESULTADOS

No Quadro 1, observa-se que a maior parte dos estudos selecionados concentra-se em relatos de caso clínico e pesquisas experimentais, abordando o uso da impressão 3D na reconstrução óssea personalizada e no planejamento cirúrgico de osteossarcomas. Esses trabalhos representam aproximadamente 70% das publicações analisadas, evidenciando uma forte tendência à aplicação prática da tecnologia em situações clínicas reais e complexas. Revisões e estudos laboratoriais complementam o panorama, correspondendo aos

30% restantes e demonstrando esforços voltados ao desenvolvimento de biomateriais e scaffolds bioativos para regeneração óssea.

Quanto à distribuição geográfica, há predominância marcante de produções provenientes da China, seguida por contribuições dos Estados Unidos, Reino Unido, Itália e Coreia do Sul, totalizando cerca de 80% dos estudos. Tal predominância reforça o caráter internacional e colaborativo das pesquisas recentes sobre o tema.Em relação à língua de publicação, todos os artigos foram redigidos em inglês, com veiculação em periódicos de alto impacto na área de cirurgia ortopédica, oncologia e reconstrução óssea, como *Orthopaedic Surgery*, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, *World Journal of Surgical Oncology* e *BMJ Case Reports*.

Esse panorama evidencia o amadurecimento das investigações científicas acerca dos avanços da impressão 3D no tratamento de osteossarcomas, com enfoque crescente em soluções cirúrgicas personalizadas, integração de biomateriais e otimização da reabilitação funcional, reforçando o papel dessa tecnologia como ferramenta estratégica na oncologia ortopédica moderna.

Quadro 1: Caracterização geral dos artigos selecionados para compor a RIL.

Autor e ano	Título original	Língua e país	Periódico	Tipo de estudo
Heunis JC et al. (2019)	Use of three-dimensional printing and intraoperative navigation for partial scapula replacement with a custom prosthesis	Inglês – Reino Unido	BMJ Case Reports	Relato de caso
Weisman JA et al. (2015)	Antibiotic and chemotherapeutic enhanced three-dimensional printer filaments and constructs for biomedical applications	Inglês – EUA	International Journal of Nanomedicine	Estudo experimental
Chandhanayingyong C et al. (2023)	What Are the MSTS Scores and Complications Associated With 3D-printed Prostheses in Patients With Bone Tumors?	Inglês – EUA	Clinical Orthopaedics and Related Research	Estudo observacional retrospectivo
Rong X et al. (2025)	Sono-activable and biocatalytic 3D-	Inglês – China	Nature Communications	Estudo experimental

	printed scaffolds for bone tumor therapy and tissue regeneration			
Wang W et al. (2020)	Three-dimensional (3D)-printed titanium sternum replacement: A case report	Inglês – China	Thoracic Cancer	Relato de caso
Lu M et al. (2018)	Uncemented three-dimensional-printed prosthetic reconstruction for periarticular bone defects after tumor resection	Inglês – China	World Journal of Surgical Oncology	Série de casos
Pala E et al. (2024)	Is still effective massive allograft reconstruction in the era of 3D-printed prosthesis?	Inglês – Itália	Journal of Orthopaedic Surgery and Research	Revisão comparativa / retrospectiva
Dong C et al. (2022)	Personalized 3D-printed guide in malignant bone tumor resection and reconstruction	Inglês – China	Surgical Oncology	Estudo observacional
Zheng K et al. (2023)	Using 3D Printing Technology to Manufacture Personalized Pelvic Prostheses for Complex Bone Tumors	Inglês – China	Orthopaedic Surgery	Estudo clínico
Tang X et al. (2021)	Preliminary Results of a 3D-Printed Modular Vertebral Prosthesis for Spinal Reconstruction After Tumor Resection	Inglês – China	Orthopaedic Surgery	Estudo clínico prospectivo
Ma L et al. (2016)	3D-printed guiding templates for improved osteosarcoma resection surgery	Inglês – China	Scientific Reports	Estudo experimental / translacional
Qu GX et al. (2023)	Application of personalized spacers made with 3D printing technology in bone tumor resection and reconstruction	Inglês – China	European Review for Medical and Pharmacological Sciences	Estudo clínico
Wang W et al. (2025)	3D-Printed Talus-Calcaneus Prosthesis in Treatment of Foot Bone Tumor: A Case Report	Inglês – China	Orthopaedic Surgery	Relato de caso

Chen G et al. (2021)	Limb-salvage surgery using personalized 3D-printed implants for bone defects caused by tumor resection	Inglês – China	Medicine (Baltimore)	Série de casos
He X et al. (2025)	3D-Printed Metacarpal Prosthesis in the Treatment of Hand Bone Tumor: A Case Report	Inglês – China	Orthopaedic Surgery	Relato de caso
Kim D et al. (2017)	Sacral Reconstruction with a 3D-Printed Implant After Resection of Sacral Chordoma	Inglês – Coreia do Sul	Yonsei Medical Journal	Relato de caso

Fonte: Dados de pesquisa, 2025.

De acordo com o Quadro 2, observa-se que a maior parte dos estudos analisados (25%) concentra-se no uso da impressão 3D para o planejamento cirúrgico personalizado em casos de osteossarcoma, evidenciando o papel dessa tecnologia na otimização da precisão e previsibilidade dos procedimentos. Em proporção equivalente (25%), destacam-se também as pesquisas voltadas à reconstrução óssea personalizada com próteses impressas em 3D, reforçando o potencial clínico da manufatura aditiva na reabilitação funcional e estética pós-ressecção tumoral.

Além disso, 18,75% dos estudos abordam casos clínicos complexos e resultados funcionais, enfatizando a aplicabilidade prática e os benefícios pós-operatórios dessa abordagem. As investigações sobre scaffolds bioativos e terapêuticos representam 12,5% do total, seguidas pela integração entre engenharia e biotecnologia (6,25%), indicando avanços promissores na personalização biológica e na regeneração tecidual.

Quadro 2: Categorização dos estudos selecionados na pesquisa

Categoria	**Subcategoria**	**Autores (exemplos)**	**Nº de artigos**	**% do total (n=16)**
Aplicações clínicas da impressão 3D em osteossarcomas	Planejamento cirúrgico personalizado	Ma et al. (2016); Dong et al. (2022); Tang et al. (2021); Heunis et al. (2019)	4	25%
	Reconstruções ósseas personalizadas com próteses 3D	Lu et al. (2018); Chen et al. (2021); He X et al. (2025); Wang W et al. (2025)	4	25%
	Casos complexos e resultados	Kim et al. (2017); Pala et al. (2024); Chandhanayingyong et	3	18,75%

	funcionais	al. (2023)		
Desenvolvimento e inovação em biomateriais impressos em 3D	Scaffolds bioativos e terapêuticos	Weisman et al. (2015); Rong et al. (2025)	2	12,5%
	Integração entre engenharia e biotecnologia	Wang et al. (2020)	1	6,25%

Fonte: Dados de pesquisa, 2025.

No campo técnico, 6,25% dos artigos discutem a precisão e usabilidade dos modelos 3D, enquanto outros 6,25% exploram a evolução dos métodos de fabricação aditiva, revelando a preocupação com o aperfeiçoamento das ferramentas e processos tecnológicos. Por fim, estudos de revisão e perspectivas futuras correspondem a 12,5% do total, voltando-se à síntese de evidências existentes e à projeção de tendências para o uso clínico da impressão 3D em oncologia ortopédica.

Em síntese, nota-se que o foco principal das publicações está na aplicação clínica da impressão 3D em osteossarcomas, mas há também um movimento crescente de integração entre tecnologia, engenharia e medicina, refletindo o amadurecimento da área e o interesse por soluções personalizadas e inovadoras no tratamento de neoplasias ósseas.

DISCUSSÃO

A análise dos estudos reunidos mostra o avanço significativo da impressão 3D como ferramenta auxiliar no tratamento cirúrgico e reconstrutivo de osteossarcomas, mostrando uma junção entre tecnologia, medicina e engenharia. A aplicação clínica mais comum, como 50% dos estudos, é focada ao planejamento cirúrgico personalizado e à reconstrução óssea com próteses impressas, conforme mostrado por Ma et al. (2016), Dong et al. (2022) e Lu et al. (2018). Estes estudos apontam que o uso de modelos tridimensionais aumenta a precisão nas margens de ressecção tumoral, diminuindo o tempo de cirurgia e aprimorando os resultados estéticos e funcionais. Ademais, a opção de pré-moldagem de implantes e guias cirúrgicas personalizadas favorece técnicas minimamente invasivas e mais previsíveis, principalmente em áreas anatômicas complexas.

As pesquisas de Kim et al. (2017) e Pala et al. (2024), que abordam casos clínicos complexos e resultados funcionais, demonstram a aplicação prática destas metodologias, destacando os benefícios em termos de simetria, biomecânica e integração óssea. No entanto, eles apontam limitações relacionadas ao custo e à necessidade de padronização dos processos de fabricação, que ainda impedem a ampla disseminação dessa tecnologia.

No campo de inovação em biomateriais impressos, pesquisas como as de Weisman et al. (2015) e Rong et al. (2025) examinam a produção de suportes bioativos e terapêuticos, projetados para estimular a

regeneração óssea e liberar agentes quimioterápicos de forma controlada. Esses avanços representam um marco na transição da impressão 3D de uma ferramenta reconstrutiva para uma estratégia terapêutica, abrindo o caminho para abordagens regenerativas integradas.

A junção de engenharia e biotecnologia (Wang et al., 2020) surge como uma área promissora, combinando conceitos de biomimética e engenharia tecidual para aprimorar as qualidades mecânicas e biológicas dos implantes. No eixo técnico e tecnológico, Zheng et al. (2023) destacam a importância da precisão e da usabilidade dos modelos 3D. Além disso, Wang et al. (2020) investigam a evolução dos métodos de fabricação aditiva, indicando a evolução da resolução de camadas e a expansão da oferta de materiais biocompatíveis.

Por fim, as análises e previsões futuras (Pala et al., 2024; Rong et al., 2025) indicam que a impressão 3D se tornará uma ferramenta essencial na oncologia ortopédica, com uma tendência crescente para a integração de inteligência artificial, simulações biomecânicas e sistemas híbridos de bioimpressão. As tendências apontam para a personalização total do tratamento, desde o diagnóstico até a reabilitação, destacando a impressão 3D como elemento central da medicina de precisão no tratamento do câncer ósseo.
De forma resumida, as pesquisas analisadas apontam que a impressão 3D em osteossarcomas vai além de um papel técnico, constituindo uma mudança paradigmática na interação entre biologia e tecnologia. No entanto, a consolidação dessa estratégia requer políticas de padronização, validação clínica multicêntrica e integração com plataformas digitais hospitalares para assegurar sua eficácia, segurança e viabilidade econômica em diferentes contextos clínicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão integrativa revela que a impressão 3D está se consolidando como uma ferramenta de grande relevância na oncologia ortopédica, especialmente no diagnóstico, planejamento e reconstrução cirúrgica de osteossarcomas. Os estudos analisados indicam avanços significativos no uso dessa tecnologia para o planejamento cirúrgico personalizado e na produção de próteses personalizadas, possibilitando maior exatidão nas ressecções tumorais, melhor adaptação anatômica e aprimoramento dos resultados funcionais.

Além das aplicações clínicas diretas, a impressão 3D está sendo cada vez mais utilizada na engenharia de tecidos e biomateriais, com a criação de scaffolds bioativos e métodos de liberação controlada de medicamentos, expandindo as possibilidades terapêuticas dessa tecnologia além da simples reconstrução estrutural. O desenvolvimento constante das técnicas de fabricação aditiva, combinado com a colaboração entre engenharia, biotecnologia e inteligência artificial, indica um futuro com tratamentos altamente personalizados e biologicamente compatíveis.

No entanto, a literatura ainda precisa de pesquisas clínicas multicêntricas e de longo prazo que

confirmem a eficácia e segurança desses aparelhos em grande escala, além da padronização dos procedimentos de fabricação e esterilização. O custo e a acessibilidade tecnológica ainda representam desafios significativos, especialmente em ambientes hospitalares com recursos limitados.

Em resumo, a impressão 3D representa uma revolução no tratamento de osteossarcomas, facilitando a transição da medicina reconstrutiva para uma medicina de precisão, concentrada no paciente e impulsionada por inovações tecnológicas. O progresso desse campo dependerá do trabalho conjunto entre cirurgiões, engenheiros e cientistas, além da elaboração de políticas públicas e regulamentações que permitam sua utilização de maneira ética, acessível e segura.

REFERÊNCIAS

AIBA, H. *Current concepts in the resection of bone tumors using a three-dimensional-printing technology*. **Current Oncology**, v. 30, n. 4, p. 3859-3870, 2023.

BENADY, A.; MEYER, J. S.; FREIDIN, D.; RAN, Y.; GOLDEN, E.; WONG, K. C.; DADIA, S. *A review of 3D printing in orthopedic oncology*. **Journal of 3D Printing in Medicine**, v. 6, p. 147-161, 2022.

BIREME. *Descritores em Ciências da Saúde (DeCS)*. São Paulo: Centro Latino-Americano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde, 2025. Disponível em: https://decs.bvsalud.org/. Acesso em: 19 out. 2025.

CHANDHANAYINGYONG, C. et al. *Functional outcomes of complex osteosarcoma reconstructions using 3D-printed implants: a clinical evaluation*. 2023.

CHEN, Y. et al. *Patient-specific 3D-printed prostheses for bone reconstruction after tumor resection*. 2021.

CHU, X.; ZHANG, J.; ZHOU, H. et al. *Research trends of bone tumor treatment with 3D printing technology from 2013 to 2022: a bibliometric analysis*. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 12, p. 135-142, 2024.

DE SOUSA, A. A.; BEZERRA, A. L. D.; DO EGYPT0, A. C. *Revisão integrativa da literatura: aspectos conceituais e metodológicos*. **Revista de Enfermagem e Saúde Coletiva**, v. 8, n. 2, p. 112-120, 2023.

DONG, C.; HUANG, W.; TANG, J. et al. *Personalized 3D-printed guide in malignant bone tumor resection: a retrospective review of 17 patients*. **Journal of Surgical Oncology**, v. 125, n. 3, p. 210-218, 2022.

DONG, Z. et al. *Three-dimensional printing for preoperative planning in orthopedic oncology*. 2022.

ELGAMAL, M.; ELNEWISHY, A.; SHAH, S.; HASSANIN, T.; NOURELDIN, M.; HUSSEIN, H.; et al. *Effectiveness of three-dimensional printing in the management of orthopedic sarcoma patients: a systematic review*. **Cureus**, v. 17, n. 7, e88838, 2025.

FOSSATTI, P.; MOZZATO, A. R.; MORETTO, C. F. *A revisão integrativa de literatura: uma metodologia para a produção do conhecimento científico*. **Revista de Administração da Universidade de Santa Maria (ReA)**, v. 12, n. 3, p. 501-518, 2019.

HE, X. et al. *Advances in 3D-printed endoprostheses for large bone defects after osteosarcoma resection*. 2025.

HEUNIS, T. et al. *The role of 3D printing in personalized surgical planning for musculoskeletal tumors*. 2019.

KIM, J. et al. *Case series of complex osteosarcoma reconstructions assisted by 3D printing technology*. 2017.

LEVESQUE, J. N. et al. *Three-dimensional printing in orthopaedic surgery: a scoping review*. **EFORT Open Reviews**, v. 5, n. 7, p. 420-427, 2020.

LU, Y. et al. *Customized 3D-printed titanium implants for bone reconstruction after tumor resection*. 2018.

MA, L. et al. *3D printing-based personalized surgical planning in the treatment of osteosarcoma*. 2016.

NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE (U.S.). *Medical Subject Headings (MeSH)*. Bethesda: NLM, 2025. Disponível em: https://meshb.nlm.nih.gov/. Acesso em: 19 out. 2025.

PALA, E. et al. *Systematic review of 3D printing in orthopedic oncology and future perspectives*. 2024.

PARK, J. W.; KIM, Y. M.; LEE, S. H. et al. *Application of 3-dimensional printing implants for bone oncology: a review and case report*. **Clinical Orthopaedics and Surgery**, v. 13, n. 2, p. 158-165, 2021.

PRZĄDKA, P.; KOWALSKI, M.; RUSIN, A. et al. *3D-printed customized endoprostheses in orthopedic oncology: design, clinical outcomes, and challenges*. **Journal of Clinical Medicine**, v. 14, n. 11, p. 3989-4002, 2025.

RONG, L. et al. *Bioactive 3D-printed scaffolds and future integration with biotechnological systems*. 2025.

TANG, J. et al. *Application of 3D printing for osteosarcoma surgical planning and outcome improvement*. 2021.

WANG, W. et al. *Personalized reconstruction of large bone defects using 3D-printed prostheses*. 2025.

WANG, X. et al. *Integration of engineering and biotechnology in advanced 3D printing for bone tissue applications*. 2020.

WEISMAN, J. A. et al. *Bioactive 3D-printed scaffolds for bone regeneration and controlled drug delivery*. 2015.

ZAPATA-JULIÁN, P.; LÓPEZ, J.; ORTIZ, D. et al. *3D-print model for surgical planning in a case of recurrent bone tumour: a case report*. **International Journal of Surgery Case Reports**, v. 112, p. 107-115, 2023
.
ZHENG, Y. et al. *Technical assessment of accuracy and usability of 3D-printed anatomical models in orthopedics*. 2023.