

**HOSPITAL DE CLÍNICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
UBERLÂNDIA**

GABRIEL CARDOSO DE HOLANDA

**O USO DA IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL APLICADO NA
NEUROCIRURGIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Uberlândia-MG
2026

Gabriel Cardoso de Holanda

O USO DA IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL APLICADO NA NEUROCIRURGIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Trabalho de conclusão de residência médica, apresentado a equipe da neurocirurgia da Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências para a conclusão da residência médica em neurocirurgia.

Orientador: Bruno do Amaral Fonseca Araújo

Uberlândia-MG
2026

O USO DA IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL APLICADO NA NEUROCIRURGIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

THE USE OF THREE-DIMENSIONAL PRINTING APPLIED IN NEUROSURGERY: A SYSTEMATIC REVIEW

Gabriel Cardoso Holanda¹
Bruno do Amaral Fonseca Araújo²

RESUMO

Na área da neurocirurgia, a impressão 3D tem impulsionado avanços significativos, sobretudo porque grande parte das condições tratadas envolve estruturas anatômicas complexas e difíceis de serem visualizadas diretamente. A neuroimagem tornou-se uma ferramenta fundamental, integrando-se cada vez mais aos processos de diagnóstico, planejamento e realização das cirurgias. Esse trabalho tem como objetivo descrever os benefícios do uso da impressão tridimensional em neurocirurgia e delinear as áreas da especialidade onde apresenta maior aplicabilidade. Esta pesquisa consistiu em uma revisão sistemática, seguindo a diretriz PRISMA, visando responder efetivamente a seguinte questão norteadora abordada no objetivo. A busca foi realizada nas bases *ScienceDirect* e PubMed, considerando artigos publicados entre 2021 e 2025, em inglês e português, relacionados diretamente ao tema. Foram excluídos artigos duplicados, que não atendiam aos critérios temporais ou objetivos, além de revisões, editoriais, cartas, resumos e resenhas. Inicialmente, 423 artigos foram encontrados, e após a exclusão de duplicatas e aplicação dos critérios, 10 artigos compuseram a análise final. Os principais achados evidenciam que a impressão 3D favorece intervenções mais seguras e precisas, ao possibilitar a reprodução fidedigna de estruturas anatômicas complexas, a personalização de estratégias operatórias e a produção de dispositivos sob medida. Além disso, reforça seu papel como ferramenta de apoio à formação profissional, promovendo avanços no planejamento cirúrgico, na simulação e na educação médica, com potencial para reduzir complicações intra e pós-operatórias e aprimorar os desfechos clínicos.

Palavras-chave: Impressão Tridimensional. Neurocirurgia. Modelos Anatômicos.

ABSTRACT

In the field of neurosurgery, 3D printing has driven significant advances, particularly because many of the conditions treated involve complex anatomical structures that are difficult to visualize directly. Neuroimaging has become a fundamental tool, increasingly integrated into diagnostic processes, surgical planning, and operative execution. This study aims to describe the benefits of using three-dimensional printing in neurosurgery and to delineate the areas of the specialty in which it has the greatest applicability.

This research consisted of a systematic review conducted in accordance with the PRISMA guidelines, with the purpose of effectively addressing the guiding question outlined in the study objective. The search was performed in the ScienceDirect and PubMed databases, considering

¹ Residência Médica em Neurocirurgia pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. E-mail: gabrielholanda22@gmail.com

articles published between 2021 and 2025, in English and Portuguese, that were directly related to the topic. Duplicate articles, those that did not meet the temporal or objective criteria, as well as reviews, editorials, letters, abstracts, and commentaries were excluded. Initially, 423 articles were identified, and after the removal of duplicates and application of the eligibility criteria, 10 articles comprised the final analysis.

The main findings indicate that 3D printing enables safer and more precise interventions by allowing the accurate reproduction of complex anatomical structures, the personalization of operative strategies, and the production of patient-specific devices. Furthermore, it reinforces its role as a supportive tool for professional training, promoting advances in surgical planning, simulation, and medical education, with the potential to reduce intraoperative and postoperative complications and to improve clinical outcomes

Keywords: Three-Dimensional Printing. Neurosurgery. Anatomical Models.

1 INTRODUÇÃO

Com os avanços da indústria de impressão tridimensional (3D), tornou-se possível sua aplicação no planejamento cirúrgico, na produção personalizada de implantes e na modelagem de tecidos voltados à área biomédica. Diante disso, é fundamental que os profissionais da medicina se mantenham atualizados quanto a essa tecnologia emergente, a fim de aproveitarem seus benefícios no contexto clínico e cirúrgico (You *et al.*, 2022).

Na neurocirurgia, os avanços promovidos pela impressão 3D têm sido particularmente expressivos, considerando que grande parte das patologias tratadas nessa especialidade envolve estruturas anatômicas complexas e de difícil visualização direta. Nesse contexto, a neuroimagem passou a desempenhar um papel essencial no suporte à prática clínica, integrando-se aos métodos de diagnóstico, planejamento e execução cirúrgica (Blohm *et al.*, 2022)

A utilização da impressão 3D na neurocirurgia tem se concentrado principalmente na produção de modelos anatômicos individualizados para planejamento cirúrgico, capacitação e ensino, o desenvolvimento de dispositivos neurocirúrgicos voltados à avaliação e tratamento de enfermidades neurológicas e a criação de implantes biológicos por meio da engenharia de tecidos (Vezirska *et al.*, 2022).

Embora haja um aumento no volume de estudos relacionados ao uso da impressão 3D em neurocirurgia, ainda persiste a necessidade de reunir, de forma sistematizada, as evidências disponíveis sobre seus benefícios. Dessa forma, justifica-se a realização de investigações que contribuam para organizar o conhecimento existente, apontar lacunas na literatura e fornecer respaldo científico para a expansão segura e eficaz dessa tecnologia no contexto neurocirúrgico.

A relevância deste estudo visa sua contribuição para o avanço da ciência e da prática clínica na área da neurocirurgia. Além disso, o estudo pode auxiliar profissionais da saúde, pesquisadores e gestores hospitalares na tomada de decisões fundamentadas sobre a incorporação dessa tecnologia nos centros cirúrgicos. A partir da identificação das principais aplicações, desafios e perspectivas da impressão 3D, o trabalho também pode fomentar o desenvolvimento de novas pesquisas e inovações tecnológicas voltadas à neurocirurgia, promovendo um cuidado mais seguro, preciso e individualizado aos pacientes.

Por isso este trabalho tem como objetivo descrever os benefícios e utilidades da impressão tridimensional aplicado na neurocirurgia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido por meio de uma revisão sistemática seguindo a diretriz *Preferred Reported Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA), visando responder efetivamente a seguinte questão norteadora: Quais os benefícios do uso da impressão tridimensional aplicado na neurocirurgia? Para formulação da questão norteadora utilizou-se a estratégia PICo, como consta detalhadamente no quadro 1 a seguir.

Quadro 1 - Formulação da questão norteadora através da estratégia PICo.

P- População	Pacientes submetidos a procedimentos neurocirúrgicos.
I - Intervenção	Uso da impressão tridimensional (3D).
C- Comparador	Não foi aplicado.
O- Outcome/desfecho	Benefícios do uso da impressão tridimensional (3D)

Fonte: Próprio autor (2025).

Para o desenvolvimento deste estudo, foi realizada uma seleção criteriosa de artigos nas bases de dados *ScienceDirect* e *US National Library of Medicine* (PubMed). A escolha das bases para a condução da revisão foi baseada em sua relevância para a área da saúde e na ampla disponibilidade de estudos científicos. Utilizaram-se palavras-chave alinhadas aos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS): Impressão Tridimensional, Neurocirurgia e Modelos Anatômicos. Para refinar as buscas e obter resultados mais precisos e relevantes, foi aplicado o operador booleano "AND", com a estratégia de busca em cada uma das bases de dados (Quadro 2). Esse procedimento garantiu uma abrangência adequada da pesquisa, resultando na obtenção de informações pertinentes ao tema em estudo.

Quadro 2 – Estratégia de busca em cada base de dados.

Bases de dados	Operador booleanos	Estratégias de busca
----------------	--------------------	----------------------

PUBMED <i>ScienceDirect</i>	AND	(<i>Three-Dimensional Printing</i>) AND (<i>Neurosurgery</i>) AND (<i>Anatomical Models</i>)
--------------------------------	-----	--

Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Foram incluídos na análise estudos em inglês e português, que tratassem diretamente da temática proposta e que tivessem sido publicados entre os anos de 2021 e 2025, no qual o recorte temporal foi definido com o objetivo de garantir que a revisão contemplasse as evidências mais recentes sobre a temática. Para garantir a atualidade e a pertinência dos achados, foram desconsiderados os artigos que não se enquadravam no recorte temporal definido, bem como os que apresentavam duplicidade ou não se relacionavam diretamente com os objetivos da pesquisa. Trabalhos de revisão, editoriais, cartas ao leitor, resumos expandidos e resenhas também foram excluídos, sendo priorizados artigos científicos que oferecessem evidências consistentes e relevantes para a construção da presente revisão sistemática.

Foi adotado um processo criterioso de verificação para assegurar que os estudos selecionados tratassem diretamente da temática proposta, garantindo a coerência e a relevância dos achados em relação aos objetivos desta revisão. Paralelamente, foi realizada uma avaliação da qualidade metodológica dos artigos incluídos, considerando aspectos como o delineamento do estudo, o tamanho e a adequação da amostra, bem como os métodos utilizados para coleta e análise dos dados.

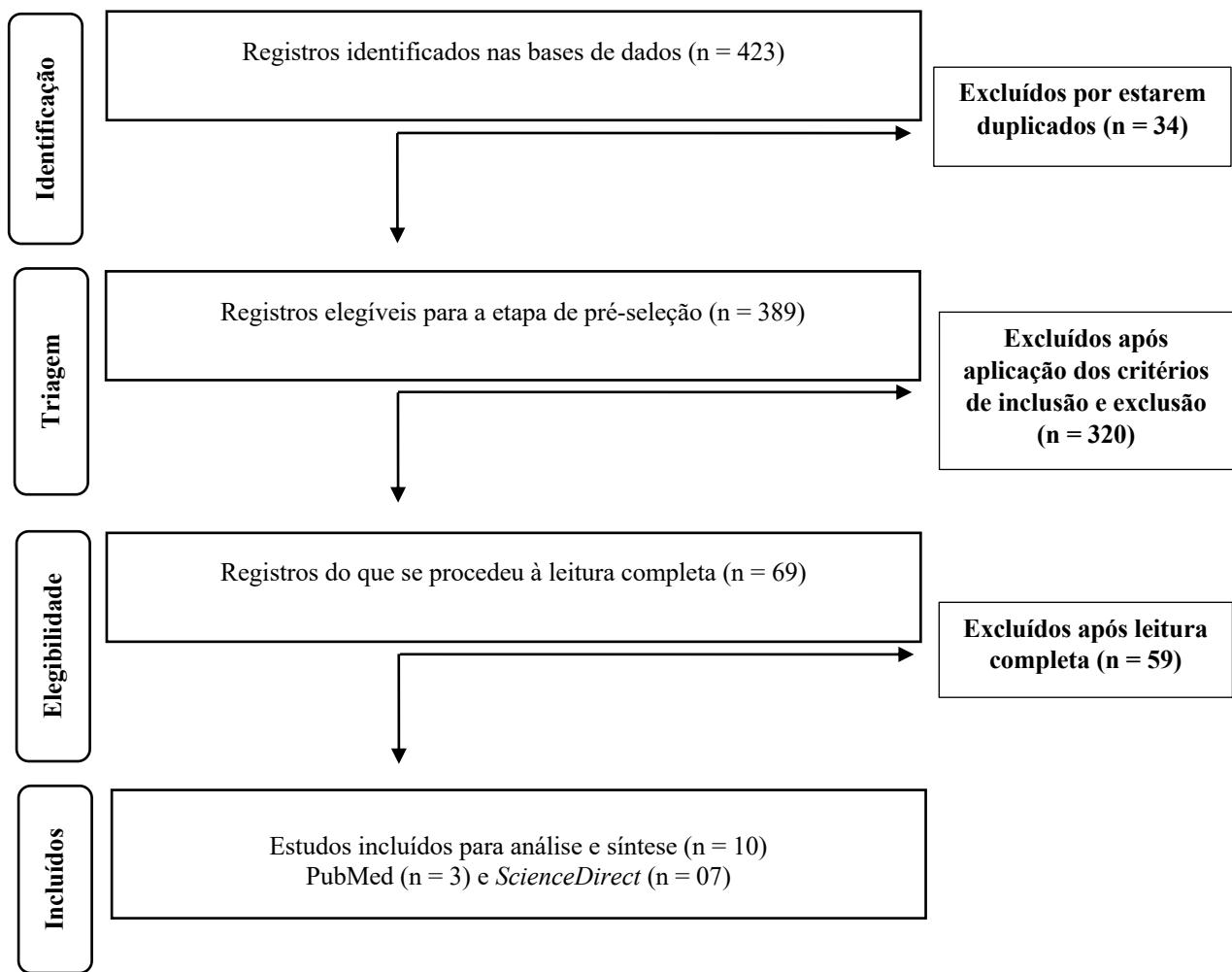
Após a leitura integral dos estudos elegíveis, elaborou-se uma tabela descritiva com informações fundamentais de cada pesquisa, contemplando: título, autor e ano de publicação, tipo de estudo, aplicações da impressão 3D e o desfecho do estudo. A elaboração da tabela teve como finalidade facilitar a identificação de aspectos recorrentes ou destacados entre os estudos analisados. Essa estratégia possibilitou uma análise comparativa mais clara e eficiente, contribuindo para a identificação de padrões, tendências e lacunas existentes no conhecimento científico sobre a temática abordada.

Em seguida, realizou-se a categorização temática dos estudos que abordam as aplicações da tecnologia de impressão 3D na neurocirurgia, agrupando-os de acordo com o foco central de cada investigação. Cada categoria contempla os respectivos autores, ano de publicação, foco principal da pesquisa e os desfechos alcançados, permitindo uma análise mais estruturada e comparativa das contribuições científicas disponíveis sobre o tema.

Inicialmente, foram identificados 423 artigos conforme os critérios previamente definidos, sendo 192 pertencentes ao *ScienceDirect* e 231 ao PubMed. Em seguida, 34 estudos duplicados foram excluídos, resultando em 389 registros elegíveis para a etapa de pré-seleção. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 320 artigos foram descartados. Na

sequência, procedeu-se à leitura completa dos 69 estudos restantes, sendo posteriormente excluídos mais 59 por não atenderem plenamente aos objetivos da pesquisa. Assim, 10 artigos foram incluídos na análise final desta revisão sistemática, conforme demonstrado no Fluxograma 1 a seguir.

Figura 1- Fluxograma de seleção de artigos da revisão sistemática.



Fonte: Dados da pesquisa (2025)

3 RESULTADOS

A tabela 1 a seguir reúne um conjunto de estudos que exploram diferentes aplicações da impressão 3D na neurocirurgia. A tabela contempla o título, autores, ano de publicação, tipo e objetivo do estudo, bem como as aplicações da impressão 3D e seus respectivos desfechos.

Tabela 1 - Principais características dos estudos selecionados.

TÍTULO AUTOR/ANO E BASE DE DADOS	TIPO E OBJETIVO DO ESTUDO	APLICAÇÕES DA IMPRESSÃO 3D	DESFECHO DO ESTUDO
<i>Application of Multimodal Image Fusion 3D Reconstruction Technology Combined with 3D Printing Guide Plate in Meningioma Surgery.</i> Zhao, Huo e Jiang (2025) <i>ScienceDirect</i>	Estudo de caso clínico. Explorar o valor da tecnologia de reconstrução tridimensional (3D) de fusão de imagens multimodais combinada com placas-guia impressas em 3D na cirurgia de meningioma.	Placas-guia impressas em 3D foram criadas pré-operatoriamente com base nos modelos de fusão de imagens multimodais e reconstrução 3D (modelos 3D da pele, músculo, crânio, tumor, estruturas cerebrovasculares e outras características anatômicas relevantes).	A combinação de guias impressas em 3D e fusão de imagens multimodais possibilitou a localização precisa do tumor, remoção completa com mínima abertura óssea, proteção das estruturas vitais e redução de complicações, evidenciando alta precisão e eficácia no planejamento neurocirúrgico.
<i>Development of Prototyped Molds for Cranioplasty Using Desktop 3D Printers: A single-center experience.</i> Hungria et al. (2025) <i>ScienceDirect</i>	Um estudo piloto. Demonstrar o processo de manufatura aditiva de moldes para cranioplastia utilizando impressoras 3D de mesa.	Moldes impressos em 3D foram criados para a realização de implantes em 35 cranioplastias.	O uso de moldes 3D para cranioplastia foi eficaz, seguro e economicamente viável, com qualidade comparável aos métodos tradicionais, destacando-se como uma alternativa acessível na prática neurocirúrgica, especialmente com laboratório próprio no hospital.
<i>Clinical application of a three-dimensional-printed model in the treatment of intracranial and extracranial communicating tumors: a pilot study</i>	Um estudo piloto. Investigar a utilidade de um modelo impresso 3D no tratamento de tumores comunicantes intracranianos e extracranianos.	Modelos impressos em 3D individualizados foram criados para oito pacientes com tumores comunicantes intracranianos e extracranianos. Com base nesses modelos impressos	Os modelos tridimensionais impressos replicaram com alta fidelidade as estruturas anatômicas, incluindo tumores, tecidos adjacentes e o crânio, possibilitando o planejamento de abordagens cirúrgicas personalizadas, como a orbitozigomática e a transcervical. A precisão estrutural dos modelos 3D foi

Zhang <i>et al.</i> (2024) PubMed	extracranianos, bem como sua aplicabilidade no planejamento cirúrgico e na educação de residentes.	em 3D, um plano cirúrgico abrangente foi elaborado para cada paciente, que foi submetido à cirurgia.	evidenciada no planejamento cirúrgico e na formação de residentes, com potencial para elevar a segurança e a eficácia dos procedimentos neurocirúrgicos.
<i>Application of 3D printing positioning technology in parasagittal meningioma surgery: A single-center retrospective study.</i> Li, Chen e Wang (2024)	Um estudo retrospectivo de centro único. Avaliar a utilidade da tecnologia de posicionamento de impressão 3D para ressecção de meningioma parassagital.	A aplicação da tecnologia de posicionamento por impressão 3D na cirurgia de meningioma parassagital.	A impressão 3D aprimorou a precisão da craniotomia e reduziu o tempo de internação em cirurgias de meningioma parassagital, com potencial de aplicação em outros tumores intracranianos superficiais, destacando sua eficácia no planejamento neurocirúrgico personalizado.
<i>Low-cost and open-source three-dimensional (3D) printing in neurosurgery: A pilot experiment using direct drive modification to produce multi-material neuroanatomical models.</i> Sidabutar <i>et al.</i> (2023)	Um estudo piloto. Demonstrar que a impressão 3D de baixo custo e código aberto pode replicar estruturas neuroanatômicas com precisão.	Foi realizada a impressão de modelos neurocirúrgicos usando uma impressora 3D de baixo custo, na qual foram impressos quatro modelos neuroanatômicos baseados em pacientes: base do crânio-vasculatura, base do crânio-tumor, coluna cervical e sistema ventricular.	A impressão 3D utilizando poliuretano termoplástico (TPU), demonstrou ser eficaz na reprodução precisa de estruturas neuroanatômicas específicas do paciente, mesmo com impressoras de nível básico. A qualidade de impressão se mostrou comparável à de equipamentos avançados, sendo aprimorada por ajustes na moldura e no preenchimento. O estudo destaca a viabilidade da tecnologia em contextos com recursos limitados, sugerindo sua aplicação no planejamento neurocirúrgico.
<i>Shaping and application of microcatheters based on 3D-printed hollow aneurysm model: A pilot feasibility study.</i> Zeng <i>et al.</i> (2022)	Um estudo piloto de viabilidade. Avaliar a aplicação de um modelo oco de aneurisma impresso em 3D	Modelos 3D ocos e transparentes de aneurismas foram impressos para moldagem e validação in vitro de microcateteres, posteriormente utilizados na colocação de	Trinta modelos ocos impressos em 3D proporcionaram orientação anatômica precisa, favorecendo a inserção e estabilidade dos microcateteres em aneurismas, com alta taxa de sucesso e potencial para

<i>ScienceDirect</i>	na moldagem de microcateteres.	molas, com avaliação de sua precisão e estabilidade.	otimizar procedimentos endovasculares.
<i>3D-printed external cranial protection following decompressive craniectomy after brain injury: a pilot feasibility cohort study.</i> Chua et al. (2021) PubMed	Um estudo piloto. Avaliar o uso da proteção craniana externa impressa em 3D após craniectomia descompressiva após lesão cerebral.	Protótipo de dispositivo de proteção craniana personalizado (HPPD) em 3D foi conduzido em 10 indivíduos durante a fase de reabilitação subaguda.	O uso de dispositivo de proteção craniana impresso em 3D (HPPD) mostrou-se viável, seguro e funcional no pós-craniectomia descompressiva, com baixo custo e potencial de aplicação ampliada, destacando a necessidade de estudos futuros com amostras maiores.
<i>Use of three-dimensional reconstruction in 3D molds as an adjuvant in the treatment of cranial and spinal pathologies: Technical details and case report.</i> Nery et al. (2021) <i>ScienceDirect</i>	Relato de caso baseado na análise retrospectiva do prontuário médico e exames do paciente. Discutir o uso da reconstrução tridimensional em moldes 3D como adjuvante no tratamento de patologias cranianas.	Um molde impresso tridimensional da órbita do paciente foi usado para reconstrução com tela de titânio. A moldagem 3D foi feita com Ácido Polilático (PLA), Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) e Plásticos de Modelagem por Deposição Fundida (FDM).	O uso de impressões tridimensionais em patologias cranianas demonstra potencial significativo para aprimorar o planejamento cirúrgico, oferecendo uma alternativa eficaz de visualização anatômica que auxilia na compreensão da patologia. Essa tecnologia contribui para a redução do tempo operatório, melhora dos resultados estéticos e funcionais, além de promover maior segurança e eficiência ao procedimento, com custo acessível.
<i>Role of three-dimensional printing in neurosurgery: an institutional experience.</i> Chaudhary, Chopra e Sinha (2021) PubMed	Estudo de experiência institucional. Discutir a experiência institucional da impressão 3D em três modalidades de neurocirurgia, a saber, cranioplastia, anomalias da junção craniovertebral	Modelos impressos em 3D foram preparados para cranioplastia em 30 casos, anomalias da junção CV em 18 casos e tumores cerebrais em 7 casos.	A impressão 3D contribuiu significativamente para a neurocirurgia, proporcionando excelente contorno craniano e melhora estética em cranioplastias, além de alívio da dor cervical e da mielopatia em anomalias da junção craniocervical. Também demonstrou ser útil no planejamento cirúrgico de tumores cerebrais e na educação dos pacientes. Concluiu-se que os modelos 3D são ferramentas práticas e precisas, com potencial para expandir o treinamento, a

	(CV) e tumores cerebrais.		simulação e a personalização na neurocirurgia.
<i>Three-dimensional printing applications in the neurosurgery: a pilot study</i> Faraj, Arkawaz e Al-Attar (2021) <i>ScienceDirect</i>	Um estudo piloto. Avaliar a aplicação da impressão 3D em diversas práticas neurocirúrgicas. Fonte: Dados da pesquisa (2025)	Modelos impressos em 3D para tumores cerebrais e aneurismas cerebrais, usado intraoperatoriamente para ter uma representação 3D em tamanho real aparente da lesão real com tecidos saudáveis próximos.	A impressão 3D demonstrou vantagens significativas na prática neurocirúrgica, contribuindo para maior precisão cirúrgica, redução do tempo operatório, diminuição de custos e menor exposição à radiação. Além disso, mostrou-se eficaz no planejamento, simulação e educação, bem como benefícios clínicos e operacionais.

A tabela 2 a seguir apresenta a categorização temática dos estudos que investigaram as aplicações 3D na neurocirurgia, organizando-os conforme o foco principal de cada pesquisa. Foram identificadas cinco categorias: planejamento cirúrgico de tumores, cranioplastia e reconstruções cranianas, modelos anatômicos para simulação e ensino, dispositivos personalizados e moldes específicos e aplicações multifuncionais integradas. Cada categoria inclui os respectivos autores e ano de publicação dos artigos, bem como uma síntese do foco principal e dos desfechos observados.

Tabela 2 – Categorização das aplicações da impressão 3D na Neurocirurgia

CATEGORIA TEMÁTICA	AUTORES E ANO	FOCO PRINCIPAL	RESUMO DO DESFECHO	PORCENTAGEM (%)
Planejamento cirúrgico de tumores	Zhao, Huo e Jiang (2025) Li, Chen e Wang (2024) Zhang et al. (2024) Faraj, Arkawaz e Al-Attar (2021)	Impressão 3D para guias cirúrgicas, posicionamento e simulação de tumores cerebrais	A impressão 3D promoveu maior precisão no acesso cirúrgico, redução de complicações e otimização do trajeto, com benefícios educacionais e clínicos.	40.0%
Cranioplastia e reconstruções cranianas	Hungria et al. (2025) Chua et al. (2021)	Moldes e dispositivos cranianos personalizados	Os estudos destacaram viabilidade técnica, segurança, redução de custos e	30.0%

	Nery et al. (2021)	(cranioplastias e proteção externa)	melhora estética com uso da impressão 3D em reconstruções cranianas.	
Modelos anatômicos para simulação, treinamento e ensino	Sidabutar et al. (2023)	Impressão de modelos neuroanatômicos para planejamento, ensino e simulação cirúrgica	Os modelos 3D mostraram-se úteis para treinar residentes, educar pacientes e planejar cirurgias com maior segurança e personalização.	10.0%
Dispositivos personalizados e moldes específicos	Zeng et al. (2022)	Moldes de microcateteres, protetores cranianos e moldes para implantes	A impressão 3D viabilizou dispositivos precisos e individualizados, com boa resposta anatômica, estabilidade e custo acessível.	10.0%
Aplicações multifuncionais integradas	Chaudhary, Chopra e Sinha (2021)	Uso combinado para tumores, cranioplastias e anomalias estruturais	Esse estudo demonstrou o valor polivalente da impressão 3D, abrangendo diagnóstico, planejamento, reconstrução, educação e simulação.	10.0%

Fonte: Dados da pesquisa (2025)

A análise percentual revelou que a categoria mais representativa foi a de planejamento cirúrgico de tumores, abrangendo 40% dos estudos, seguida por cranioplastia e reconstruções cranianas, com 30%. As demais categorias como modelos anatômicos, dispositivos personalizados e aplicações multifuncionais corresponderam, individualmente, a 10% cada. Esses dados reforçam a versatilidade da impressão 3D em diferentes contextos da prática neurocirúrgica, com predominância em procedimentos de planejamento cirúrgico e reconstrução craniana.

4 DISCUSSÃO

A aplicação da impressão tridimensional na neurocirurgia tem promovido avanços relevantes em áreas como o planejamento pré-operatório, a criação de dispositivos médicos personalizados e a simulação de intervenções. A literatura especializada aponta, de forma consistente, os benefícios dessa tecnologia em diferentes cenários clínicos, com destaque para o manejo de tumores cerebrais, a realização de cranioplastias e o desenvolvimento de modelos anatômicos aplicados ao ensino e à prática cirúrgica.

No que diz respeito ao planejamento cirúrgico de tumores intracranianos, Zhao, Huo e Jiang (2025), Li, Chen e Wang (2024), Zhang *et al.* (2024) e Faraj, Arkawaz e Al-Attar (2021), enfatizam o papel da impressão 3D na definição precisa da topografia tumoral, possibilitando intervenções mais seguras e direcionadas. A utilização de guias cirúrgicas impressas com base em reconstruções multimodais permitiu a exposição mínima da área operada, com significativa redução de complicações e recorrências (Zhao, Huo e Jiang, 2025).

De acordo com Shi *et al.* (2022), a impressão 3D possibilita a conversão de imagens tridimensionais reconstruídas em modelos anatômicos físicos ou em implantes neurológicos, utilizando materiais como termoplásticos, células biológicas e outras substâncias. Essa abordagem viabiliza, por exemplo, a confecção de guias cirúrgicos para localização pré-operatória, crânios e dispositivos de proteção personalizados para pacientes com defeitos cranianos, bem como condutos específicos para o reparo de lesões em nervos periféricos.

Adicionalmente, modelos de patologias como tumores e aneurismas também podem ser impressos com o objetivo de aperfeiçoar o treinamento clínico e o desenvolvimento de habilidades dos profissionais da saúde. Segundo Parr *et al.* (2019), a utilização de biomodelos anatômicos personalizados, produzidos por meio da impressão 3D a partir de imagens médicas, tem demonstrado não apenas aumentar a segurança do paciente, mas também promover maior eficiência operacional nas instituições de saúde. Esse recurso contribui para a redução de custos hospitalares ao otimizar o tempo cirúrgico e favorecer melhores desfechos clínicos.

Corroborando esses achados, Li, Chen e Wang (2024), evidenciam a eficácia da impressão 3D na realização de craniotomias precisas em casos de meningiomas parassagitais, o que contribuiu para a redução do tempo de internação hospitalar. De modo complementar, Zhang *et al.* (2024), ressaltam a utilidade dos modelos tridimensionais não apenas na definição de abordagens cirúrgicas personalizadas, mas também como recurso valioso para o ensino de residentes. Essa perspectiva é reforçada por Faraj, Arkawaz e Al-Attar (2021), que apontam melhorias no desempenho clínico e diminuição do tempo operatório decorrentes da adoção da tecnologia de impressão 3D.

Melo e Peddinghaus (2019), indicam que a aplicação da impressão 3D no planejamento e na execução de procedimentos cirúrgicos pode trazer benefícios significativos, como a redução do tempo operatório, menor perda sanguínea durante o intraoperatório, diminuição da exposição à radiação ionizante e redução das complicações intra e pós-operatórias, favorecendo, consequentemente, uma possível melhora nos desfechos cirúrgicos.

Bicalho *et al.* (2024), relatam que o uso da impressão 3D pode contribuir para uma redução do tempo cirúrgico entre 15% e 20%, conforme observado em diferentes estudos e contextos clínicos. Essa diminuição está associada principalmente à melhor compreensão anatômica da patologia, incluindo sua localização e a via de acesso mais adequada, além de facilitar decisões relacionadas à instrumentação cirúrgica já no pré-operatório

No campo das cranioplastias e das reconstruções crânicas, evidências apresentadas por Hungria *et al.* (2025), Chua *et al.* (2021) e Nery *et al.* (2021), demonstram tanto a viabilidade técnica quanto a acessibilidade econômica do uso de moldes produzidos por impressão 3D. Hungria *et al.* (2025), destacam a aplicação de impressoras 3D de mesa na confecção de moldes com qualidade comparável aos métodos tradicionais, representando uma alternativa eficaz e de baixo custo. Chua *et al.* (2021), avaliaram positivamente o uso de dispositivos personalizados impressos em 3D para proteção crânica no período pós-operatório de craniectomia descompressiva, observando boa usabilidade e segurança. Complementarmente, Nery *et al.* (2021), ressaltam que essa tecnologia contribui para melhores resultados estéticos e funcionais nas reconstruções, além de colaborar na redução do tempo cirúrgico.

De acordo com Bicalho *et al.* (2024), a criação de modelos 3D tem contribuído significativamente para a compreensão de estruturas anatômicas complexas, permitindo que tanto cirurgiões quanto pacientes visualizem de forma clara o procedimento antes da intervenção. Um dos principais avanços apontados é a possibilidade de produzir próteses personalizadas para reconstruções craniofaciais, resultando em melhorias expressivas nos aspectos estéticos e funcionais dos procedimentos cirúrgicos

A aplicação da impressão 3D na confecção de guias cirúrgicas personalizadas tem se mostrado eficaz na otimização do posicionamento de implantes e a consequente redução do tempo operatório. Parr *et al.* (2019), destacam que a queda nos custos e a maior facilidade de uso das impressoras 3D têm tornado essa tecnologia cada vez mais acessível. Com isso, a impressão tridimensional vem sendo incorporada de forma crescente ao ambiente clínico, não apenas como suporte ao planejamento cirúrgico, mas também como recurso valioso para a educação de pacientes e o treinamento de cirurgiões.

No que se refere à criação de modelos anatômicos voltados à simulação e ao ensino, Sidabutar *et al.* (2023), relatam a produção de modelos neuroanatômicos com alto grau de realismo utilizando impressoras 3D de baixo custo e tecnologia de código aberto, evidenciando a aplicabilidade da impressão 3D mesmo em cenários com restrições orçamentárias. Essa abordagem pedagógica é reforçada por Zhang *et al.* (2024), que empregaram modelos tridimensionais na formação prática de residentes em neurocirurgia, e por Faraj, Arkawaz e Al-Attar (2021), que demonstraram a eficácia desses recursos como ferramentas de ensino e simulação operatória, promovendo melhorias significativas no desempenho clínico.

Mendonça *et al.* (2023), afirmam que a ampliação do uso da impressão 3D em diferentes campos, observa-se uma tendência de queda nos custos associados à tecnologia, o que tem favorecido sua acessibilidade. A redução nos preços dos equipamentos e materiais tem possibilitado que equipes cirúrgicas adotem a produção interna de modelos anatômicos. Além disso, os avanços contínuos na área têm contribuído para o aumento da precisão e da acurácia na fabricação de biomodelos e biomateriais.

Aimar, Palermo e Innocenti (2019), alegam que a utilização de modelos anatômicos impressos em 3D tem se mostrado eficaz no aprimoramento da educação médica, contribuindo para o aumento do desempenho e da assimilação rápida de conteúdos por parte dos estudantes. Esses recursos também favorecem o desenvolvimento do conhecimento clínico, da capacidade de gestão e da autoconfiança dos estagiários, independentemente da especialidade médica.

No tocante à utilização de dispositivos personalizados, o estudo conduzido por Zeng *et al.* (2022), demonstraram que a impressão 3D possibilitou a moldagem precisa e a inserção estável de microcateteres, otimizando o controle durante o procedimento intraoperatório. Essa evidência ilustra como a impressão tridimensional pode transcender o uso meramente visual no planejamento cirúrgico, assumindo um papel ativo na criação de dispositivos médicos sob medida, o que contribui para intervenções mais seguras, eficientes e adaptadas à anatomia individual do paciente.

Corroborando, Aimar, Palermo e Innocenti (2019), alegam que entre as principais vantagens apontadas estão a reproduzibilidade dos modelos, a possibilidade de simular diferentes anatomicas, normais ou patológicas, a partir de grandes bases de dados e, ainda, o compartilhamento entre instituições, inclusive aquelas com menos recursos. A impressão em múltiplas densidades e cores também permite destacar detalhes anatômicos relevantes, ampliando o potencial didático desses modelos.

Por fim, Chaudhary, Chopra e Sinha (2021), oferecem uma visão abrangente ao relatar uma experiência institucional multifuncional, onde a impressão 3D foi aplicada com sucesso

em cranioplastias, tratamento de anomalias da junção cranivertebral e tumores cerebrais. Sua experiência institucional confirma que essa tecnologia pode ser implementada de forma sistemática, com impacto positivo tanto nos resultados clínicos quanto no ensino e simulação cirúrgica.

De acordo com Matsui *et al.* (2020), a evolução da impressão 3D tem viabilizado a produção de próteses ósseas de baixo custo e com alto grau de precisão, especialmente para pacientes submetidos à cranioplastia após procedimentos cirúrgicos. Além disso, essa tecnologia tem sido empregada no planejamento pré-operatório de linhas de incisão, permitindo a realização de aberturas cranianas mais precisas, o que contribui para a redução de complicações intraoperatórias e para melhores resultados estéticos.

Além de sua aplicação em cranioplastias, Czyżewski *et al.* (2022), afirmam que o planejamento pré-operatório com auxílio da impressão 3D tem se consolidado como uma ferramenta valiosa, proporcionando aos cirurgiões uma visualização mais precisa do local de reconstrução. Esse recurso tem favorecido a obtenção de resultados estéticos satisfatórios, ao possibilitar a restauração do contorno anatômico do crânio, contribuindo de forma significativa para a melhoria da qualidade de vida dos pacientes.

Dessa forma, observa-se que, independentemente do contexto clínico ou institucional, a impressão 3D tem se consolidado como uma ferramenta estratégica e multifuncional na prática neurocirúrgica. Os achados dos estudos revisados indicam que sua incorporação potencializa não apenas a precisão das intervenções, mas também a personalização do cuidado ao paciente, contribuindo para a redução de custos, a otimização do tempo operatório e a melhoria dos desfechos clínicos. Tal panorama evidencia o valor dessa tecnologia como aliada na qualificação dos processos assistenciais e no avanço técnico-científico da neurocirurgia contemporânea.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho cumpriu com êxito seu objetivo de descrever os benefícios do uso da impressão tridimensional (3D) aplicada à neurocirurgia, destacando seu impacto positivo em diferentes etapas do cuidado cirúrgico. Os principais achados evidenciam que a impressão 3D favorece intervenções mais seguras e precisas, ao possibilitar a reprodução fidedigna de estruturas anatômicas complexas, a personalização de estratégias operatórias e a produção de dispositivos sob medida. Além disso, reforça seu papel como ferramenta de apoio à formação profissional, promovendo avanços no planejamento cirúrgico, na simulação e na educação

médica, com potencial para reduzir complicações intra e pós-operatórias e aprimorar os desfechos clínicos.

Observou-se também que a tecnologia de impressão 3D tem expandido suas aplicações, destacando-se especialmente em procedimentos como cranioplastias, ressecções tumorais e na fabricação de guias cirúrgicas. Essas aplicações têm contribuído diretamente para a redução do tempo operatório e dos custos hospitalares, além de promover melhorias significativas nos desfechos clínicos e estéticos. Paralelamente, os modelos tridimensionais impressos demonstram-se valiosos como ferramentas educacionais e de simulação cirúrgica, aumentando a segurança e o preparo técnico de residentes e cirurgiões.

Este estudo apresenta limitações inerentes à natureza dos trabalhos revisados, predominantemente constituídos por estudos pilotos, relatos de caso e experiências institucionais com amostras reduzidas, o que pode comprometer a generalização dos resultados. A heterogeneidade metodológica entre os artigos dificulta a comparação direta dos dados e a quantificação objetiva dos benefícios. Ademais, a rápida evolução tecnológica no campo da impressão 3D pode tornar alguns achados temporários, exigindo atualizações constantes para refletir as inovações emergentes.

Como recomendação para pesquisas futuras, destaca-se a importância da realização de ensaios clínicos com amostras maiores e grupos controle, visando mensurar de maneira mais robusta os impactos da tecnologia nos desfechos cirúrgicos. Além disso, investigações focadas na incorporação da impressão 3D em instituições com recursos limitados, bem como análises de custo-benefício em diferentes contextos clínicos, podem contribuir significativamente para a democratização e o aprimoramento dessa ferramenta inovadora.

REFERÊNCIAS

AIMAR, Anna; PALERMO, Augusto; INNOCENTI, Bernardo. The role of 3D printing in medical applications: a state of the art. **Journal of healthcare engineering**, v. 2019, n. 1, p. 5340616, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/5340616>

BICALHO, F. F. et al. Impressão 3D em cirurgia: aplicação da impressão 3D para criar modelos anatômicos personalizados. **Revista Contemporânea**, v. 4, n. 11, p. e6432-e6432, 2024. DOI: <https://doi.org/10.56083/RCV4N11-016>

BLOHM, J. E. et al. Three-dimensional printing in neurosurgery residency training: a systematic review of the literature. **World neurosurgery**, v. 161, p. 111-122, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.10.069>

CHAUDHARY, A.; CHOPRA, S.; SINHA, V. Role of three-dimensional printing in neurosurgery: an institutional experience. **Asian Journal of Neurosurgery**, v. 16, n. 03, p. 531-538, 2021. DOI: https://doi.org/10.4103/ajns.AJNS_475_20

CHUA, K. S. G. et al. 3D-printed external cranial protection following decompressive craniectomy after brain injury: a pilot feasibility cohort study. **PLoS One**, v. 16, n. 10, p. e0258296, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258296>

CZYŻEWSKI, Wojciech et al. Low-cost cranioplasty—a systematic review of 3D printing in medicine. **Materials**, v. 15, n. 14, p. 4731, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15144731>

FARAJ, M.; ARKAWAZI, B.; AL-ATTAR, Z. Three-dimensional printing applications in the neurosurgery: a pilot study. **Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences**, v. 9, n. B, p. 403-406, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3889/oamjms.2021.6057>

HUNGRIA, E. B. et al. Development of Prototyped Molds for Cranioplasty Using Desktop 3D Printers: A single-center experience. **World Neurosurgery: X**, p. 100479, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wnsx.2025.100479>

LI, S.; CHEN, M.; WANG, H. Application of 3D printing positioning technology in parasagittal meningioma surgery: A single-center retrospective study. **World Neurosurgery**, v. 192, p. e20-e26, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.06.134>

MATSUI, Chihiro et al. Utilization of a simple surgical guide for multidirectional cranial distraction osteogenesis in craniosynostosis. **Plastic and Reconstructive Surgery—Global Open**, v. 8, n. 4, p. e2797, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000002797>

MELO, H. W. C.; PEDDINGHAUS, W. S. **Aplicação da tecnologia de impressão 3D no planejamento cirúrgico: um estudo de caso**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24019> Acesso em: 02 de julho de 2025

MENDONÇA, C. J. A. et al. An overview of 3D anatomical model printing in orthopedic trauma surgery. **Journal of Multidisciplinary Healthcare**, p. 875-887, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2147/JMDH.S386406>

NERY, B. et al. Use of three-dimensional reconstruction in 3D molds as an adjuvant in the treatment of cranial and spinal pathologies: technical details and case report. **Interdisciplinary Neurosurgery**, v. 24, p. 100953, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inat.2020.100953>

PARR, W. C. H et al. 3D printed anatomical (bio) models in spine surgery: clinical benefits and value to health care providers. **Journal of Spine Surgery**, v. 5, n. 4, p. 549, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21037/jss.2019.12.07>

SHI, Z. J. et al. Role of personalized 3D printing in brain protection after decompressive craniectomy. **Zhonghua yi xue za zhi**, v. 102, n. 23, p. 1766-1770, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112137-20211019-02314>

SIDABUTAR, R. et al. Low-cost and open-source three-dimensional (3D) printing in neurosurgery: A pilot experiment using direct drive modification to produce multi-material

neuroanatomical models. **Clinical Neurology and Neurosurgery**, v. 228, p. 107684, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2023.107684>

VEZIRSKA, D. et al. Three-dimensional printing in neurosurgery: a review of current indications and applications and a basic methodology for creating a three-dimensional printed model for the neurosurgical practice. **Cureus**, v. 14, n. 12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.33153>

YOU, Y. et al. Three-dimensional printing and 3D slicer powerful tools in understanding and treating neurosurgical diseases. **Frontiers in surgery**, v. 9, p. 1030081, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.1030081>

ZHANG, X. et al. Clinical application of a three-dimensional-printed model in the treatment of intracranial and extracranial communicating tumors: a pilot study. **3D Printing in Medicine**, v. 10, n. 1, p. 2, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41205-024-00202-5>

ZHAO, J.; HUO, H.; JIANG, J. Application of Multimodal Image Fusion 3D Reconstruction Technology Combined with 3D Printing Guide Plate in Meningioma Surgery. **World Neurosurgery**, v. 196, p. 123768, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2025.123768>

ZENG, Y. et al. Shaping and application of microcatheters based on 3D-printed hollow aneurysm model: a pilot feasibility study. **Clinical Neurology and Neurosurgery**, v. 218, p. 107277, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2022.107277>