

Modelagem Tridimensional Assistida por Inteligência Artificial como um Arcabouço Dinâmico de Suporte à Decisão para o Planejamento Cirúrgico

Luís Fernando Rosati Rocha ^{1,*}, Ana Paula de Carvalho Miranda Rosati Rocha ², Ana Luiza de Carvalho Miranda Rosati Rocha ³, Luís Eduardo Miranda Rosati Rocha ⁴, Filipe Moll de Souza Rocha ⁴

¹ Departamento de Cirurgia Geral, Universidade Federal Fluminense (UFF), Rio de Janeiro, Brasil.

² Departamento de Radiologia, Universidade Federal Fluminense (UFF), Rio de Janeiro, Brasil.

³ Instituto Pardini, Rio de Janeiro, Brasil.

⁴ Faculdade de Medicina IDOMED, Rio de Janeiro, Brasil.

* Correspondência: lfrosati@yahoo.com.br.

Resumo: A modelagem tridimensional (3D) assistida por inteligência artificial (IA) ampliou o papel da imagem médica no planejamento cirúrgico; no entanto, seu valor clínico frequentemente é confundido com visualização avançada, em vez de verdadeiro suporte à tomada de decisão. Esta mini-revisão examina criticamente a modelagem 3D orientada por IA como uma ferramenta de precisão para o planejamento cirúrgico, enfatizando a distinção entre reconstruções anatômicas estáticas e sistemas dinâmicos, orientados por inteligência, capazes de se adaptar às condições intraoperatórias. Além das redes neurais convolucionais clássicas, arquiteturas contemporâneas como Vision Transformers e modelos baseados em difusão são discutidas, destacando suas implicações para generalização, estimativa de incerteza e robustez. Também se dá atenção à padronização das imagens, à responsabilidade algorítmica, aos limites econômicos para adoção e à lacuna persistente entre visualização e benefício cirúrgico quantificável.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Modelagem Tridimensional; Planejamento Cirúrgico.

Citação: Rocha LFR, Rocha APCMR, Rocha ALCMR, Rocha RLEM, Rocha FMS. Modelagem Tridimensional Assistida por Inteligência Artificial como um Arcabouço Dinâmico de Suporte à Decisão para o Planejamento Cirúrgico. Brazilian Journal of Clinical Medicine and Review. 2026;Jan-Dec;04(1):bjcmr52.

<https://doi.org/10.52600/2763-583X.bjcmr.2026.4.1.bjcmr52>

Recebido: 29 Dezembro 2025

Aceito: 4 Fevereiro 2026

Publicado: 5 Fevereiro 2026



Copyright: This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

1. Introdução

A transformação da imagem volumétrica em informação cirúrgica acionável representa um dos desenvolvimentos mais consequentes da cirurgia moderna de alta complexidade [1]. Reconstruções tridimensionais específicas do paciente, derivadas da tomografia computadorizada e da ressonância magnética, têm sido cada vez mais incorporadas ao planejamento pré-operatório em múltiplas especialidades. No entanto, o entusiasmo pela modelagem 3D assistida por IA frequentemente tem precedido uma avaliação crítica. Benefícios relatados, como melhor compreensão espacial ou redução do tempo de isquemia quente, são frequentemente atribuídos à inteligência artificial sem uma distinção clara entre inferência algorítmica e representação gráfica aprimorada. Essa distinção é fundamental, pois a maioria dos sistemas clinicamente utilizados permanece estática e de natureza pré-operatória, oferecendo resiliência limitada à deformação tecidual e ao deslocamento de órgãos durante o intraoperatório [2].

Assim, esta Mini Review adota uma perspectiva crítica, examinando não apenas os avanços tecnológicos na segmentação e reconstrução assistidas por IA, mas também os

desafios ainda não resolvidos relacionados à modelagem dinâmica, à padronização das imagens, à responsabilidade legal e à relação custo-efetividade.

2. Materiais e Métodos

Esta Mini Review foi conduzida como uma síntese narrativa crítica da literatura, uma abordagem adequada para tecnologias emergentes cujas implicações clínicas vão além de métricas quantitativas de desempenho [3]. O objetivo foi integrar as dimensões técnicas, clínicas, éticas e organizacionais da modelagem 3D assistida por IA no planejamento cirúrgico. Foi realizada uma busca estruturada nas bases PubMed/MEDLINE, Scopus e Web of Science, abrangendo publicações de janeiro de 2014 a março de 2026. Os termos de busca incluíram “inteligência artificial”, “modelagem tridimensional”, “segmentação”, “planejamento cirúrgico”, “Vision Transformer”, “modelo de difusão” e “realidade aumentada”. Foram considerados elegíveis estudos de revisão narrativa e sistemática, estudos clínicos observacionais, ensaios prospectivos e relatos translacionais que abordassem explicitamente a aplicação cirúrgica.

3. Evolução das Arquiteturas de IA na Modelagem 3D Cirúrgica

As redes neurais convolucionais, particularmente as arquiteturas baseadas em U-Net, constituíram a primeira geração de segmentação assistida por IA na cirurgia e permanecem amplamente utilizadas devido à sua estabilidade e reprodutibilidade [4]. No entanto, sua dependência de campos receptivos localizados limita a generalização em protocolos de imagem heterogêneos. Arquiteturas mais recentes incorporam Vision Transformers e modelos híbridos CNN-Transformer, permitindo melhor captura de dependências espaciais de longo alcance e relações contextuais em dados volumétricos [5]. Modelos baseados em difusão ampliam ainda mais esse paradigma ao introduzir segmentação probabilística e reconstruções sensíveis à incerteza — um recurso crítico quando pequenas estruturas anatômicas apresentam risco cirúrgico desproporcional [6].

4. Visualização Estática versus Modelagem Cirúrgica Dinâmica

Apesar dos avanços algorítmicos, a maioria dos modelos 3D assistidos por IA atualmente utilizados na prática clínica permanece como mapas anatômicos estáticos gerados a partir de imagens pré-operatórias. Uma vez iniciada a exposição cirúrgica, o deslocamento de órgãos, a deformação e a perda de restrições fisiológicas deterioram progressivamente a validade espacial dessas reconstruções [2]. Esforços emergentes que integram simulação biomecânica, redes neurais informadas por princípios físicos e imagem intraoperatória em tempo real representam uma mudança conceitual rumo à modelagem dinâmica. Embora ainda amplamente investigativas, tais abordagens delimitam a fronteira entre a visualização ilustrativa e o verdadeiro suporte à decisão cirúrgica orientado por IA.

5. O Paradoxo da Padronização na Aquisição de Imagens

A segmentação automatizada reduz comprovadamente a variabilidade interobservador; contudo, simultaneamente amplifica inconsistências inerentes à aquisição das imagens. Sem padrões internacionais mínimos para protocolos de tomografia computadorizada e ressonância magnética de grau cirúrgico, a modelagem 3D orientada por IA corre o risco de se tornar uma reprodução precisa de dados sistematicamente enviesados, em vez de uma ferramenta para cirurgia de precisão [7].

6. Responsabilidade Algorítmica e Caminhos Estruturados de Implementação

Em ambientes cirúrgicos, omissões algorítmicas podem ter consequências clínicas diretas. Se um vaso acessório ou uma estrutura crítica não for identificado durante a segmentação, a responsabilidade não pode ser atribuída exclusivamente ao algoritmo ou ao cirurgião. Caminhos estruturados de implementação são, portanto, essenciais e devem

incluir validação com o cirurgião no circuito decisório, visualização explícita da incerteza algorítmica, relato padronizado das limitações do modelo e processos institucionais de credenciamento. Tais salvaguardas mitigam o risco de dependência excessiva, preservando os benefícios da ampliação proporcionada pela IA [1, 8].

7. Integração da Realidade Aumentada: Limites Técnicos e Realidade Clínica

Embora a realidade aumentada tenha sido amplamente promovida como uma extensão natural da modelagem 3D assistida por IA, sua adoção clínica permanece limitada. Desafios persistentes relacionados à latência de registro, erros de percepção de profundidade e desalinhamento entre sobreposições virtuais e a anatomia deformável têm impedido que sistemas de RA alcancem desempenho intraoperatório confiável. Essas limitações ajudam a explicar por que, apesar de mais de uma década de desenvolvimento tecnológico, a navegação cirúrgica guiada por realidade aumentada não se tornou padrão de cuidado na maioria dos centros acadêmicos.

8. Considerações Econômicas e o Ponto de Inflexão Clínico

A justificativa econômica para a modelagem 3D assistida por IA dificilmente será universal. Sua proposta de valor é mais robusta em procedimentos anatomicamente complexos e de alto risco, nos quais reduções modestas no tempo operatório, na duração da isquemia ou nas taxas de complicações se traduzem em benefícios posteriores desproporcionalmente maiores [9].

9. Discussão e Conclusão

De modo geral, as evidências atuais sugerem que a modelagem 3D assistida por IA funciona principalmente como um facilitador do planejamento cirúrgico, e não como um determinante direto dos desfechos. A ausência de adaptabilidade dinâmica, de padronização das imagens e de dados robustos de custo-efetividade explica por que essas tecnologias permanecem adotadas de forma seletiva, em vez de universalmente integradas à prática cirúrgica. A modelagem tridimensional assistida por inteligência artificial deve ser entendida como um arcabouço transitório de suporte à decisão, cuja relevância clínica depende da convergência entre modelagem dinâmica, padrões de imagem de grau cirúrgico, algoritmos sensíveis à incerteza e caminhos estruturados de implementação. Superar a lacuna entre visualização aprimorada e benefício cirúrgico quantificável permanece o principal desafio para sua ampla adoção.

Financiamento: Nenhum.

Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa: Nenhum.

Agradecimentos: Nenhum.

Conflitos de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Materiais Suplementares: Nenhum.

Referências

1. Topol EJ et al. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nat Med*. 2019.
2. Clifton DA et al. Dynamic organ modeling using intraoperative data. *IEEE Trans Med Imaging*. 2024.
3. Grant MJ, Booth A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Info Libr J*. 2009 Jun;26(2):91-108. doi: 10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x. PMID: 19490148.
4. Ronneberger O et al. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *MICCAI*. 2015.
5. Dosovitskiy A et al. An image is worth 16×16 words: Transformers for image recognition. *ICLR*. 2021.
6. Ho J et al. Denoising diffusion probabilistic models. *Med Image Anal*. 2023.
7. McBee MP et al. Imaging standardization and AI bias in clinical deployment. *Radiology*. 2024.
8. Raza A et al. Clinical governance of artificial intelligence in surgery. *Ann Surg*. 2024.
9. Fritz J et al. Cost-effectiveness of AI-assisted surgical planning. *Eur J Surg Oncol*. 2025.