

Manufatura Digital de Próteses Auriculares: Uma Revisão de Escopo

Digital Manufacturing of Ear Prostheses: A Scope Review

Fabricación Digital de Prótesis Auriculares: Una Revisión de Alcance

RESUMO

O artigo apresenta uma revisão de escopo das metodologias, tecnologias e resultados associados ao uso da manufatura digital na produção de próteses auriculares, destacando seu impacto transformador na reabilitação auditiva, bem como os desafios atuais e as perspectivas para o desenvolvimento e a disseminação dessa tecnologia. Para isso, foi conduzida uma revisão de escopo com 44 artigos. Os resultados demonstraram a transição para fluxos digitais de trabalho, com o método direto sendo empregado em 55% dos estudos. Essa abordagem tem permitido a criação de próteses mais precisas, eficientes e de baixo custo, resultando em maior satisfação do paciente. A transição para a produção digital de próteses auriculares é um avanço promissor que tem o potencial de superar os desafios da fabricação convencional. A evolução das tecnologias de escaneamento, impressão 3D, softwares de código aberto e o uso de novos materiais tornarão os processos mais acessíveis e eficientes.

DESCRIPTORES: Prótese Auricular; Manufatura Aditiva; Tecnologias Digitais; Reabilitação.

ABSTRACT

This article presents a review of the scope of methodologies, technologies and results associated with the use of digital manufacturing in the production of ear prostheses, highlighting its transformative impact on auditory rehabilitation, as well as the current challenges and perspectives for the development and dissemination of this technology. For this, a scope review with 44 articles was conducted. The results demonstrated the transition to digital workflows, with the direct method being employed in 55% of the studies. This approach allowed the creation of more precise, efficient and low-cost prostheses, resulting in greater patient satisfaction. The transition to digital ear prosthesis production is a promising breakthrough that has the potential to overcome the challenges of conventional manufacturing. The evolution of scanning and 3D printing, development of open source software and the use of new materials will make processes more accessible and efficient.

DESCRIPTORS: Ear Prosthesis; Additive Manufacturing; Digital Technologies; Rehabilitation.

RESUMEN

Este artículo presenta una revisión del alcance de las metodologías, tecnologías y resultados asociados al uso de la fabricación digital en la producción de prótesis auditivas, destacando su impacto transformador en la rehabilitación auditiva, así como los desafíos actuales y las perspectivas para el desarrollo y la difusión de esta tecnología. Para esto, se llevó a cabo una revisión de alcance con 44 artículos. Los resultados demostraron la transición a flujos de trabajo digitales, con el método directo siendo empleado en el 55% de los estudios. Este enfoque permitió la creación de prótesis más precisas, eficientes y de bajo costo, resultando en una mayor satisfacción del paciente. La transición a la producción digital de prótesis auditivas es un avance prometedor que tiene el potencial para superar los desafíos de la fabricación convencional. La evolución de las tecnologías de escaneo, el desarrollo de software de código abierto y el uso de nuevos materiales harán los procesos más accesibles y eficientes.

DESCRIPTORES: Prótesis Auditiva; Fabricación Aditiva; Tecnologías Digitales; Rehabilitación

RECEBIDO EM: 03/10/2025 APROVADO EM: 21/10/2025

Como citar este artigo: Artioli BO, Carvalho MCO, Kunkel ME. Manufatura Digital de Próteses Auriculares: Uma Revisão de Escopo. Saúde Coletiva (Edição Brasileira) [Internet]. 2025 [acesso ano mês dia];16(101):17598-17617. Disponível em: DOI: 10.36489/saudecoletiva.2025v16i101p17598-17617

ID Bárbara Olivetti Artioli
Mestre em Engenharia Biomédica - Universidade Federal do ABC.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0859-3563>

ID Maycon Crispim de Oliveira Carvalho
Mestre em Engenharia Biomédica - Universidade Anhembi Morumbi.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9282-2068>

ID Maria Elizete Kunkel
Doutora em Biomecânica - Ulm University.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1711-9289>

INTRODUÇÃO

A aurícula, ou orelha externa, é um elemento crucial para a estética facial e para a definição da fisionomia de um indivíduo. Sua estrutura anatômica reflete características como a idade e o sexo, sendo um componente importante na composição da face^(1,2). A compreensão dos padrões estéticos do formato auricular é, portanto, fundamental para uma análise facial bem-sucedida⁽³⁾. A orelha externa consiste em uma

proeminência de pele e cartilagem, e suas principais estruturas anatômicas são o complexo hélice-anti-hélice, a concha, o lóbulo e o trago^(4,5).

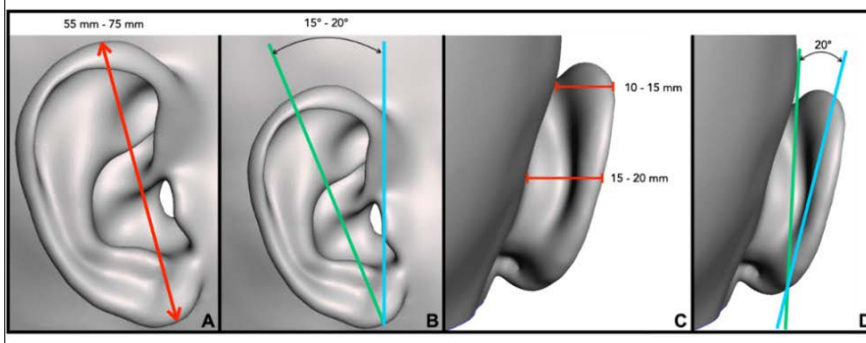
A orelha humana, uma estrutura fundamental para a estética facial e o design de próteses, é formada por proporções e dimensões anatômicas específicas (Fig. 1). A combinação dessas informações permite replicar com precisão a morfologia natural, garantindo funcionalidade e estética em dispositivos protéticos e adaptados⁽⁶⁾.

específicas e do quadro clínico de cada paciente^(11,12).

A reconstrução cirúrgica permite o uso de tecidos autólogos e resulta em uma estrutura definitiva integrada ao corpo, com menor necessidade de manutenção, porém exige múltiplos procedimentos, envolve maior tempo de recuperação e pode gerar cicatrizes significativas devido a remoção do tecido do próprio paciente. A reabilitação protética proporciona um resultado estético imediato, menos invasivo e com maior possibilidade de ajustes personalizados ao longo do tempo, mas apresenta desafios relevantes⁽¹³⁾. Entre eles, as dificuldades técnicas na confecção da prótese por métodos convencionais, que pode demandar várias etapas laboratoriais complexas, alto grau de habilidade do profissional e tempo prolongado até a entrega final da prótese. Além disso, as próteses requerem substituições periódicas devido ao desgaste dos materiais, dependem da adesão do paciente ao uso contínuo e podem gerar limitações funcionais e psicológicas relacionadas à percepção de artificialidade, assim como ao estigma social associado ao uso de dispositivos externos⁽¹⁴⁾.

Nos últimos 25 anos, a reabilitação com próteses auriculares passou por uma transformação significativa impulsionada pela integração de tecnologias digitais, como a aquisição de imagens tridimensionais (3D), o Design Assistido por Computador (Computer Aided Design, CAD) e a manufatura aditiva. A reconstrução 3D de imagens detalhadas da orelha do paciente possibilita a criação de modelos digitais capazes de reproduzir com precisão suas características anatômicas individuais. Softwares de CAD podem ser empregados para o refinamento dos modelos, assegurando ajuste anatômico adequado e harmonização estética. A manu-

Fig. 1. Medidas antropométricas médias da orelha humana. (A) Altura auricular (55 mm - 75 mm). (B) Inclinação posterior da orelha em relação ao plano vertical (15° a 20°). (C) Distância da projeção lateral da orelha (10-15 mm para a parte inferior). (D) Ângulo de afastamento da borda externa da hélice em relação à cabeça (aproximadamente 20°).



Fonte: Adaptado de Ladani, 2021⁽⁶⁾.

A importância da orelha na estética facial é evidente. Uma orelha com tamanho, forma, localização e posicionamento dentro dos padrões de normalidade tende a não ser notada. Contudo, qualquer alteração em sua estrutura causa uma modificação estética significativa⁽⁷⁾. Alterações estéticas na face podem gerar impactos psicossociais negativos, como dificuldades em relacionamentos interpessoais e sociais, comprometendo a qualidade de vida dos pacientes⁽⁸⁾. Deformi-

dades auriculares podem ser causadas por diversas patologias, desde condições congênitas, como a microtia, até traumas adquiridos, como os resultantes de acidentes automobilísticos, câncer de pele e queimaduras^(9,10). Essas deformidades congênitas ou adquiridas, incluindo a ausência parcial ou completa da orelha (anotia/microtia), podem ser tratadas eficazmente por meio de cirurgia de reconstrução auricular ou reabilitação protética. As abordagens oferecem vantagens e desvantagens distintas, dependendo das necessidades

fatura aditiva potencializa o processo produtivo pois possibilita converter diretamente modelos digitais em próteses estéticas com elevado nível de precisão e realismo. Essa evolução resulta em uma abordagem mais personalizada e eficiente, com benefícios em termos de escalabilidade, tempo de produção e custo-benefício⁽¹⁴⁾.

No entanto, apesar dos avanços e benefícios evidentes, persistem desafios relacionados à padronização dos protocolos digitais, à acessibilidade dessas tecnologias em contextos clínicos e à escassez de estudos comparativos sistematizados. O presente artigo apresenta uma revisão de escopo sobre as metodologias, tecnologias e resultados associados ao uso da manufatura digital na produção de próteses auriculares, destacando seu impacto transformador na reabilitação auditiva, bem como os desafios atuais e as perspectivas para o desenvolvimento e a disseminação dessa tecnologia. A análise busca identificar os desafios que ainda limitam a adoção dessas abordagens por centros protéticos e propor estratégias para facilitar a sua disseminação e aplicação clínica mais ampla.

MÉTODO

Trata-se de uma revisão de escopo para analisar criticamente a evolução da manufatura digital aplicada às próteses auriculares nos últimos 25 anos, identificando os desafios que ainda restringem sua adoção em centros protéticos e apontando possíveis estratégias para ampliar sua disseminação e aplicação clínica. O estudo foi conduzido em conformidade com o modelo do Joanna Briggs Institute (JBI), conforme o Manual para Revisão de escopo JBI, e a construção do artigo seguiu o check-list PRISMA-SCR (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)^(15,16) (Fig. 2.) para identificar, selecionar e analisar a literatura sobre a aplicação de tecnologias digitais na produção de próteses auriculares.

Estratégia de Busca

A busca por artigos científicos foi realizada nas bases de dados PubMed, Scopus e Web of Science limitada ao período de 25 anos, de 2000 a 2025, para abranger as

implementações mais relevantes das tecnologias digitais no campo. As palavras-chave foram combinadas utilizando operadores booleanos (AND e OR) para maximizar a sensibilidade da busca. Foi utilizado as seguintes combinações de palavras-chave com operadores booleanos: (“orelha externa” OR “aurícula”) AND (“próteses” OR “prótese”) AND (“impressão 3D” OR “manufatura aditiva” OR “fabricação digital”).

Crítérios de Elegibilidade

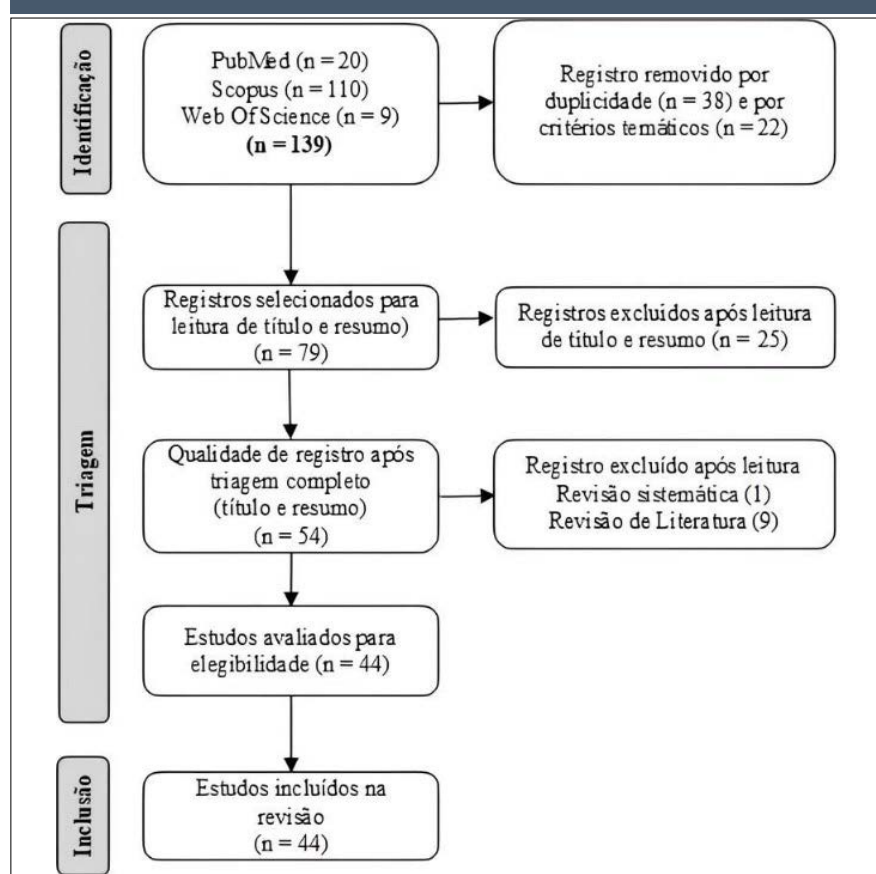
Os artigos incluídos abordam a aplicação de manufatura aditiva (impressão 3D), CAD ou CAM na fabricação de próteses auriculares externas, contemplando artigos originais, estudos de caso, ensaios clínicos e revisões, publicados no período de 2000 a 2025. Foram excluídos artigos que não tratassem especificamente da produção de próteses externas, aqueles voltados apenas à

reconstrução cirúrgica com materiais autólogos ou aloplásticos, bem como relatórios de conferência, cartas ao editor, editoriais e artigos de opinião sem apresentação de dados originais.

Seleção e Análise dos Dados

Na primeira etapa de seleção dos estudos, os títulos e resumos dos artigos foram triados para identificar os que atendiam aos critérios de inclusão. Na segunda etapa, os textos completos dos artigos pré-selecionados foram lidos para confirmação da elegibilidade. Para cada artigo incluído, foram extraídos dados sobre autores, ano de publicação, tipo de estudo, tecnologia utilizada, materiais, metodologia de fabricação, resultados e conclusões. A síntese dos dados foi realizada de forma descritiva, e a análise crítica das evidências mapeou os desafios para propor estratégias de disseminação.

Fig. 2. Fluxograma PRISMA da seleção de artigos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

RESULTADOS

A análise da literatura resultou na compilação de 44 artigos únicos, que foram minuciosamente examinados para identificar as metodologias e os processos de fabricação protética auricular utilizando tecnologias de manufatura digital (Tabela 1).

Tabela 1. Metodologias e processos de fabricação protética auricular utilizando manufatura digital.

n°	Autores	Ano	Método	Aquisição da Imagem	Processo*
1	Chee Kai, et al. ⁽¹⁷⁾	2000	Direto	Scanner 3D (Laser)	SLA / SLS / FFF / LOM
2	Gebhardt ⁽¹⁸⁾	2000	Direto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	-
3	Sykes, et al. ⁽¹⁹⁾	2004	Indireto	Scanner 3D (Óptico)	MJT
4	Jiao, et al. ⁽²⁰⁾	2004	Direto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	LOM
5	Ciocca e Scotti ⁽²¹⁾	2004	Indireto	Scanner 3D (Laser)	-
6	Chandra, et al. ⁽²²⁾	2005	Direto	Scanner 3D (Laser)	MJT
7	Mardini et al. ⁽²³⁾	2005	Indireto	Scanner 3D (Laser)	SLA
8	Bibb, et al. ⁽²⁴⁾	2006	Direto	Scanner 3D (Laser)	MJT
9	Subburaj, et al. ⁽²⁵⁾	2007	Indireto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	-
10	Karayazgan-Saracoglu et al. ⁽²⁶⁾	2009	Indireto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	-
11	Turgut, et al. ⁽²⁷⁾	2009	Indireto	Imagens DICOM (RM e TC) e Reconstrução 3D	SLS
12	Karatas, et al. ⁽²⁸⁾	2011	Direto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	MJT / SLA
13	Liacouras, et al. ⁽²⁹⁾	2011	Direto	Scanner 3D (Laser)	-
14	De Crescenzo, et al. ⁽³⁰⁾	2011	Direto	-	-
15	Bai, et al. ⁽³¹⁾	2014	Direto	Scanner 3D (Luz) / Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	SLS
16	He et al. ⁽³²⁾	2014	Direto	-	FFF
17	Watson e Hatamleh. ⁽³³⁾	2014	Direto	Scanner 3D (Laser)	-
18	Artioli et al. ⁽³⁴⁾	2014	Direto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	FFF / SLS
19	Nuseir, et al. ⁽³⁵⁾	2015	Indireto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	-
20	Moretto, et al. ⁽³⁶⁾	2016	Direto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	FFF
21	Mohammed, et al. ⁽³⁷⁾	2017	Direto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	PJ
22	Yadav et al. ⁽³⁸⁾	2017	Direto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	SLS
23	Jamayet et al. ⁽³⁹⁾	2018	Indireto	Scanner 3D (Laser)	PJ
24	Mohammed et al. ⁽⁴⁰⁾	2018	Direto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	PJ
25	Sarkar et al. ⁽⁴¹⁾	2019	Indireto	Scanner 3D (Luz)	FFF
26	Unkovskiy et al. ⁽⁴²⁾	2019	Direto	Scanner 3D (Luz)	SLS / SLA / FFF
27	Unsal e Turkylmaz. ⁽⁴³⁾	2019	Indireto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	-
28	Cevik e Kocacikli. ⁽⁴⁴⁾	2020	Direto	Scanner 3D (Luz Azul)	FFF
29	Cruz et al. ⁽⁴⁵⁾	2020	Direto	Scanner 3D (Luz)	FFF
30	Manju et al. ⁽⁴⁶⁾	2021	Indireto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	PJ
31	Bi et al. ⁽⁴⁷⁾	2022	Direto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	-
32	Singh e Bhandari. ⁽⁴⁸⁾	2022	Indireto	Scanner 3D (Luz azul)	SLA
33	Netshilindi et al. ⁽⁴⁹⁾	2023	Indireto	Scanner 3D (scanner intraoral digital)	SLA
34	Sharma et al. ⁽⁵⁰⁾	2023	Indireto	Scanner 3D (Luz)	FFF / SLA
35	Hatamleh et al. ⁽⁵¹⁾	2024	Direto	TC, Tomografia de feixe cônico (CBCT) do Scanner de mesa	
36	Kasahara et al. ⁽⁵²⁾	2024	Indireto	Scanner (Artec Spider) e (Trios3)	
37	Kim et al. ⁽⁵³⁾	2024	Direto	Imagens DICOM (TC) e Reconstrução 3D	FFF
38	Capotorto et al. ⁽⁵⁴⁾	2025	Direto	Scanner 3D (Laser)	FFF

39	İnal et al. ⁽⁵⁵⁾	2025	Indireto	Scanner 3D (Intraoral)	FFF
40	İnal et al. ⁽⁵⁶⁾	2025	Indireto	Aplicativo Smartphone (Polycam)	SLA
41	Kaul et al. ⁽⁵⁷⁾	2025	Indireto	Aplicativo Smartphone (EM3D e Scanner 3D.	-
42	Gadallah et al. ⁽⁵⁸⁾	2025	Indireto	Scanners Intraorais	-
44	Nightingale et al. ⁽⁵⁹⁾	2025	Indireto	Fotogrametria iPhone e Android, e scanner 3D	

* FFF: Fabricação com Filamento Fundido;
LOM: Fabricação de Objetos Laminados; MJT:
Modelagem Multijet; PJ: Polyjet. RM: Ressonância Magnética; Tomografia Computadorizada;
SLA: Estereolitografia; SLS: Sinterização Seletiva a Laser.

A literatura sobre a reabilitação protética auricular por meio da manufatura aditiva pode ser categorizada em dois

fluxos de trabalho: O método indireto que utiliza a manufatura aditiva para produzir um modelo físico do molde que será usado na fabricação convencional da prótese, e o método direto que emprega a tecnologia para fabricar a prótese final ou um componente dela, eliminando as etapas de moldagem e escultura manual.

O método indireto foi empregado em 20 dos 44 estudos (45%), com foco na redução de etapas manuais, otimização de tempo e busca por soluções mais acessíveis e eficientes para a aquisição da imagem da orelha. O método direto, abordagem dominante, foi explorado em 24 dos 44 artigos (55%) (Tabela 2)

Tabela 2. Aplicação dos métodos direto e indireto de manufatura aditiva para próteses auriculares, detalhando a geração digital da anatomia contralateral sem o uso de moldagem física.		
Método Indireto		
Ano	Autores	Principais descobertas
2004	Sykes, et al. ⁽¹⁹⁾	Comparações estatísticas entre um molde produzido convencionalmente e um por manufatura aditiva.
	Ciocca e Scotti ⁽²¹⁾	A aplicação do método indireto só é viável se os sistemas de escaneamento e CAD forem de baixo custo.
2005	Mardini et al. ⁽²³⁾	O método indireto não exigiu submeter o paciente ao scanner, reduzindo erros de aquisição e visitas ao consultório.
2007	Subburaj, et al. ⁽²⁵⁾	Viabilidade de uma metodologia semi automatizada usando CAD e manufatura aditiva para desenvolver uma prótese auricular.
2009	Karayazgan-Saracoglu et al. ⁽²⁶⁾	Viabilidade de uma abordagem semi automatizada empregando CAD e manufatura aditiva.
	Turgut, et al. ⁽²⁷⁾	Reprodutibilidade em 10 casos de ausência unilateral de orelha.
2015	Nuseir, et al. ⁽³⁵⁾	O emprego de modelagem 3D e manufatura aditiva simplificou a produção, reduzindo o tempo e aprimorando a textura e estrutura dos resultados.
2018	Jamayet et al. ⁽³⁹⁾	Nova metodologia indireta, eliminando exames de tomografia computadorizada, o que reduziu tempo, custo e melhorou a precisão.
2019	Sarkar et al. ⁽⁴¹⁾	Método indireto com tecnologia Polyjet; destacou desafios econômicos, mas reconheceu o potencial de redução de custos.
	Unsal e Turkyilmaz. ⁽⁴³⁾	Análise da satisfação do paciente em um caso clínico de prótese auricular produzida por manufatura aditiva, relatando satisfação com o resultado.
2021	Manju et al. ⁽⁴⁶⁾	O processo garantiu realismo excepcional e adaptação precisa, exigindo três vezes menos horas em comparação ao método convencional.
2022	Singh e Bhandari ⁽⁴⁸⁾	O método indireto simplificou o processo de produção de próteses auriculares, eliminando etapas demoradas.
2023	Netshilindi et al. ⁽⁴⁹⁾	O primeiro relato do uso de scanner intraoral 3D em método indireto resultou em maior precisão, eficiência aprimorada e uma abordagem menos invasiva.
	Sharma et al. Sharma et al. ⁽⁵⁰⁾	Confirmou que, apesar dos custos iniciais, a abordagem do método indireto reduziu significativamente a necessidade de consultas com os pacientes e o tempo de permanência na cadeia.
2024	Kasahara et al. ⁽⁵²⁾	Comparou scanners ópticos com a moldagem convencional, concluindo que os métodos digitais causaram menos deformação e são clinicamente aceitáveis.
2025	İnal et al. ⁽⁵⁵⁾	Apresentou um fluxo de trabalho semidigital para a substituição de próteses retidas por implantes, utilizando um scanner intraoral e impressão 3D para otimizar o processo.
	İnal et al. ⁽⁵⁶⁾	Validou uma técnica de baixo custo para aquisição da imagem da orelha usando um aplicativo de smartphone, comprovando que é uma alternativa acessível e confortável.
	Kaul et al. ⁽⁵⁷⁾	Aplicativos de celular são uma alternativa viável aos scanners 3D, com boa acurácia e desempenho superior em tempo e custo.
	Gadallah et al. ⁽⁵⁸⁾	Avaliou diferentes scanners intraorais, demonstrando que a acurácia para a digitalização da orelha variou significativamente entre os modelos.
	Nightingale et al. ⁽⁵⁹⁾	Validou um método de fotogrametria com smartphones que é preciso e repetível, independentemente do modelo do celular, reforçando a flexibilidade e o potencial de democratização da tecnologia.

Método Direto		
Ano	Autores	Principais descobertas
2000	Chee Kai, et al. ⁽¹⁷⁾	Primeiro relatório do método direto, demonstrou a produção de próteses auriculares com quatro tecnologias de Manufatura Aditiva (SLA, SLS, FFF e LOM).
	Gebhardt ⁽¹⁸⁾	Explorou as implicações clínicas do procedimento de fabricação, confirmando sua aplicabilidade.
2004	Jiao, et al. ⁽²⁰⁾	A integração de Manufatura Aditiva e Design Assistido por Computador (CAD) simplificou o processo de produção, aumentando a eficiência.
2005	Chandra, et al. ⁽²²⁾	Demonstrou a transição da fabricação artesanal para a baseada em engenharia, usando scanners a laser de baixo custo e recebendo feedback positivo de médicos e pacientes.
2006	Bibb, et al. ⁽²⁴⁾	Validou a eficiência do método direto para próteses com retenção magnética.
2011	Karatas, et al. ⁽²⁸⁾	Afirmou a capacidade da abordagem de gerar próteses com maior realismo e simetria facial, com tempo de processamento reduzido.
	Liouras, et al. ⁽²⁹⁾	Viabilidade do método direto para diminuir etapas iniciais no processo de fabricação convencional.
	De Crescenzo, et al. ⁽³⁰⁾	Fornecer resultados que concluíram que o método direto reduziu tempo e custos ao eliminar três etapas de fabricação em comparação ao processo convencional.
2014	Bai, et al. ⁽³¹⁾	O método direto aumentou a precisão e a exatidão das próteses auriculares, otimizando os esforços manuais e minimizando o tempo de produção.
	He et al. ⁽³²⁾	Validou uma abordagem econômica e de fácil utilização para a produção de próteses auriculares de silicone.
	Watson e Hatamleh ⁽³³⁾	Melhorou a prótese final usando um espectrômetro de cores que reproduziu com precisão os tons de pele digitais e físicos.
	Artioli et al. ⁽³⁴⁾	Destacou a capacidade da tecnologia SLS de produzir um molde de qualidade superior para próteses, mas reconheceu disparidades econômicas.
2016	Nuseir, et al. ⁽³⁵⁾	Software de código aberto para otimizar a reconstrução 3D a partir de imagens de TC da orelha, facilitando a modelagem digital de moldes.
2017	Moretto, et al. ⁽³⁶⁾	O design 3D e a impressão multimaterial demonstraram ter o potencial de criar modelos de próteses auriculares realistas, tornando-os adequados para aplicações clínicas.
	Mohammed, et al. ⁽³⁷⁾	Ilustrou que a tecnologia de manufatura aditiva por CAD/CAM e Sinterização Seletiva a Laser replicou próteses auriculares precisas, reduzindo o tempo de tratamento.
2018	Mohammed et al. ⁽⁴⁰⁾	A modelagem e impressão 3D produziram resultados superiores de reprodução anatômica, reduzindo o tempo de produção e os custos em 30-35% em comparação aos métodos tradicionais.
2019	Unkovskiy et al. ⁽⁴²⁾	A investigação revelou que todos os três métodos de fabricação aditiva (FFF, SLS e SLA) alcançaram alta precisão dimensional na produção de próteses auriculares.
2020	Cevik e Kocacikilj. ⁽⁴⁴⁾	A Manufatura Aditiva tem o potencial de substituir procedimentos convencionais, como moldagem em frascos e escultura em cera.
	Cruz et al. ⁽⁴⁵⁾	A manufatura aditiva oferece uma solução econômica e de alta precisão para a produção de próteses auriculares.
2022	Bi et al. ⁽⁴⁷⁾	A manufatura aditiva e o planejamento CAD otimizam a produção de próteses auriculares, eliminando etapas demoradas.
2024	Hatamleh et al. ⁽⁵¹⁾	Fluxo de trabalho digital para reconstrução auricular bilateral, validando o fluxo digital para obter maior simetria e precisão na localização de implantes.
	Kim et al. ⁽⁵³⁾	Ensaio clínico que comprovou a segurança e a durabilidade de implantes de PCL impressos, com resultados de alta satisfação do paciente após um ano.
2025	Capotorto et al. ⁽⁵⁴⁾	Criou um andaime (scaffold) com dois materiais (PCL e TPU) via FFF que mimetiza as propriedades mecânicas da cartilagem e do tecido adiposo, mostrando superioridade em relação a outros materiais.

DISCUSSÃO

A presente revisão de escopo demonstrou que a transição para a reabilitação auricular por meio de fluxos de trabalho digitais é uma tendência consolidada na literatura, com uma evolução notável do foco em viabilidade técnica para a validação clínica e a democratização do acesso. A análise dos dados principais, apresentados nas Tabelas 1 e 2, permitiu

identificar padrões e lacunas que moldam o futuro da anaplastologia digital.

Evolução dos Métodos e Tecnologias de Aquisição

A análise cronológica da literatura revela um movimento significativo na aquisição de dados. Inicialmente, o método direto predominou, utilizando scanners a laser ou a reconstrução de imagens de tomografia computadori-

zada (TC)^(18,20,22). Embora essa abordagem oferecesse alta precisão, dependia de equipamentos de grande porte e, no caso da TC, expunha o paciente à radiação, o que limitava sua aplicabilidade clínica e econômica. O método indireto, por sua vez, foi validado com scanners ópticos⁽¹⁹⁾ com a premissa de que sua viabilidade dependia de sistemas de baixo custo⁽²¹⁾.

Observou-se uma mudança paradig-

mática na aquisição de dados devido a eliminação progressiva de exames de alta complexidade, como a TC, em favor de soluções menos invasivas e mais eficientes^(39,49). O uso de scanners intraorais^(39, 55) e, mais recentemente, de fotogrametria com smartphones^(56,57,59), validam a democratização da tecnologia de aquisição. Essa tendência sugere que a principal barreira de entrada, o custo do scanner, está sendo progressivamente mitigada por dispositivos acessíveis, com desempenho de precisão aceitável para aplicações clínicas. No entanto, é crucial notar que a acurácia pode variar significativamente entre os diferentes scanners ressaltando a necessidade de padronização e validação de protocolos⁽⁵⁸⁾.

A Manufatura Aditiva como Padrão de Produção

Paralelamente à evolução na aquisição, os dados indicam uma consolidação da manufatura aditiva como o principal meio de produção. As tecnologias de estereolitografia (SLA), Fabricação com Filamento Fundido (FFF), e sinterização seletiva a laser (SLS) foram as mais exploradas ao longo dos anos para a produção de moldes^(23,27) ou da prótese final^(32,44). A tecnologia Polyjet (PJ) se destacou por sua capacidade de produzir modelos com alta fidelidade de detalhes e realismo^(37,39,46). A variedade de tecnologias de impressão, no entanto, expõe um desafio: a escolha do método de manufatura impacta diretamente o custo e as propriedades mecânicas da prótese, o que exige um conhecimento técnico aprofundado do profissional.

O uso de impressão 3D em ambos os métodos (direto e indireto) demonstra a sua versatilidade. No método indireto, a impressão de um molde ou modelo físico⁽¹⁹⁾ permite a aplicação das técnicas de anaplastologia tradicional com um fluxo de trabalho digital. Já no método direto, a manufatura aditiva permite a impressão de suportes, guias cirúrgicas e até mesmo a prótese final⁽⁵³⁾, eliminando etapas manuais e garantindo

maior precisão dimensional.

Benefícios da transição digital para a reabilitação estética

A análise dos achados (Tabela 2) evidencia que os ganhos da transição digital vão além da técnica. A redução de consultas e do tempo em cadeira^(23,50), a eliminação de exames invasivos como a TC⁽³⁹⁾, e a simplificação de etapas demoradas⁽⁴⁸⁾ demonstram um impacto direto na prática clínica e na experiência do paciente. O aumento da satisfação reforça o benefício da previsibilidade estética e da otimização do processo⁽⁴³⁾. A democratização tecnológica com dispositivos de baixo custo sugere que esses benefícios podem se tornar acessíveis a um número maior de pacientes, ampliando o acesso à reabilitação estética de alta qualidade.

Desafios e Perspectivas Futuras

Apesar dos avanços, a revisão de escopo identificou lacunas importantes. A principal barreira para a adoção em larga escala continua sendo o alto custo inicial de equipamentos e a necessidade de capacitação técnica, uma limitação que persiste desde os estudos iniciais⁽²¹⁾ até os mais recentes^(41,50). As perspectivas futuras, no entanto, são promissoras e já estão sendo exploradas na literatura. O desenvolvimento de novos materiais, como o andaime híbrido de PCL e TPU⁽⁵⁴⁾, indica uma direção de pesquisa que busca mimetizar não apenas a estética, mas também as propriedades mecânicas e funcionais dos tecidos. Além disso, a validação de fluxos digitais para próteses bilaterais⁽⁵¹⁾ e o uso de aplicativos de smartphone⁽⁵⁷⁾ abrem caminho para a pesquisa focada na simplificação e escalabilidade do processo.

Em suma, a literatura demonstra uma evolução consistente e convergente dos métodos, com a manufatura aditiva e o escaneamento 3D se consolidando como a espinha dorsal da reabilitação auricular moderna. O desafio agora reside em superar as barreiras econômicas e de qualificação, garantindo que a tecnologia, que já provou sua eficácia

clínica, possa ser democratizada e amplamente adotada, transformando o cuidado protético em uma prática mais acessível e centrada no paciente.

CONCLUSÃO

Esta revisão de escopo demonstrou que a manufatura aditiva se consolidou como um dos pilares tecnológicos na reabilitação protética auricular moderna, transformando um processo tradicionalmente manual em um fluxo de trabalho digital e previsível. Os achados confirmam a evolução de dois métodos primários, o direto e o indireto, que se estabelecem como alternativas viáveis e eficientes às técnicas convencionais. Esses fluxos de trabalho não apenas otimizam a produção, reduzindo tempo e custos, mas também elevam a qualidade e o realismo das próteses, impactando diretamente na satisfação e no bem-estar do paciente. Apesar de barreiras persistentes, como o alto custo de equipamentos e a necessidade de treinamento especializado, a tendência crescente de democratização tecnológica impulsiona a adoção em larga escala. A validação de soluções de baixo custo, como a fotogrametria por smartphones e o desenvolvimento de softwares de código aberto, sinaliza um futuro em que a tecnologia de ponta será mais acessível, expandindo o alcance e o impacto da reabilitação auricular digital. Em suma, a transição para a manufatura digital representa mais do que uma mera mudança de técnica; ela é um movimento em direção à democratização do acesso a próteses de alta qualidade. O futuro da anaplastologia digital reside em superar as lacunas econômicas e de treinamento, ao mesmo tempo em que explora o potencial de novos biomateriais e personalização avançada, solidificando a reabilitação protética como uma disciplina de engenharia, arte e cuidado humano.

REFERENCES

1. Khobkhun P, et al. An anthropometric study of the external ear in the Thai population. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2022;75(4):1417-23.
2. Tang L, et al. The ideal proportion of the auricle exposure via a morphometric analysis in Asian women. *Aesthet Plast Surg*. 2024;48:2611-7.
3. Lei L, et al. A survey of aesthetic standards of the ear. *J Craniofac Surg*. 2020;31(2):527-9.
4. Lee W, et al. Anthropometric analysis of 3D ear scans of Koreans and Caucasians for ear product design. *Ergonomics*. 2018;61(11):1480-95.
5. Sundar PS, Chowdhury C, Kamarthi S. Evaluation of human ear anatomy and functionality by axiomatic design. *Biomimetics*. 2021;6(2):31.
6. Ladani P. Ear reconstruction. In: Bonanthaya K, et al., editors. *Oral and Maxillofacial Surgery for the Clinician*. Singapore: Springer; 2021. p. 731-45.
7. Klassen AF, et al. An international study to develop the EAR-Q patient-reported outcome measure for children and young adults with EAR conditions. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2021;74(9):2341-8.
8. Joukhadar N, et al. Management of congenital auricular anomalies. *Plast Reconstr Surg*. 2020;146(2):205e-16e.
9. Sakae E, Aki F. Estudos das complicações na reconstrução de orelha [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2007.
10. Giot JP, Labbe D, Soubeyrand E, Pacini R, Guillou-Jamard MR, Compere JF, et al. Prosthetic reconstruction of the auricle: indications, techniques, and results. *Semin Plast Surg*. 2011;25(4):265-72.
11. Mevio E, et al. Bone-anchored titanium implants in patients with auricular defects: three years and 27 patients' experience. *Int J Otolaryngol*. 2016;2016:9872048.
12. Bhatti SL, et al. Ear abnormalities. *Pediatr Rev*. 2021;42(4):180-8.
13. Viswanathan AK, Chidambaranathan AS. Effective rehabilitation of auricular defects with two different prosthetic materials: case reports. *Tanta Dent J*. 2024;21(1):105-9.
14. Tanveer W, et al. Applications of CAD/CAM technology for craniofacial implants placement and manufacturing of auricular prostheses—systematic review. *J Clin Med*. 2023;12(18):5950.
15. Aromataris E, Lockwood C, Porritt K, Pilla B, Jordan Z. *JB I manual for evidence synthesis*. JBI; 2024.
16. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. *Ann Intern Med*. 2018;169:467-73.
17. Chee Kai C, et al. Facial prosthetic model fabrication using rapid prototyping tools. *Integr Manuf Syst*. 2000;11(1):42-53.
18. Gebhardt A. Rapid prototyping based design and manufacturing of facial prostheses. *Phi-dias Report*. 2000;4:4-8.
19. Sykes LM, et al. Applications of rapid prototyping technology in maxillofacial prosthetics. *Int J Prosthodont*. 2004;17(4).
20. Jiao T, et al. Design and fabrication of auricular prostheses by CAD/CAM system. *Int J Prosthodont*. 2004;17(4).
21. Ciocca L, Scotti R. CAD-CAM generated ear cast by means of a laser scanner and rapid prototyping machine. *J Prosthet Dent*. 2004;92(6):591-5.
22. Chandra A, et al. Application of rapid manufacturing techniques in support of maxillofacial treatment: evidence of the requirements of clinical applications. *Proc Inst Mech Eng B J Eng Manuf*. 2005;219(6):469-75.
23. Mardini M, Ercoli C, Graser GN. A technique to produce a mirror-image wax pattern of an ear

using rapid prototyping technology. *J Prosthet Dent.* 2005;94(2):195-8.

24. Bibb R, et al. An investigation of three-dimensional scanning of human body surfaces and its use in the design and manufacture of prostheses. *Proc Inst Mech Eng H J Eng Med.* 2006;214(6):589-94.

25. Subburaj K, et al. Rapid development of auricular prosthesis using CAD and rapid prototyping technologies. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2007;36(10):938-43.

26. Karayazgan-Saracoglu B, Gunay Y, Atay A. Fabrication of an auricular prosthesis using computed tomography and rapid prototyping technique. *J Craniofac Surg.* 2009;20(4):1169-72.

27. Turgut G, et al. Use of rapid prototyping in prosthetic auricular restoration. *J Craniofac Surg.* 2009;20(2):321-5.

28. Karatas MO, et al. Manufacturing implant supported auricular prostheses by rapid prototyping techniques. *Eur J Dent.* 2011;5(4):472-7.

29. Liacouras P, et al. Designing and manufacturing an auricular prosthesis using computed tomography, 3-dimensional photographic imaging, and additive manufacturing: a clinical report. *J Prosthet Dent.* 2011;105(2):78-82.

30. De Crescenzo F, et al. Design and manufacturing of ear prosthesis by means of rapid prototyping technology. *Proc Inst Mech Eng H J Eng Med.* 2011;225(3):296-302.

31. Bai S, et al. Development and application of a rapid rehabilitation system for reconstruction of maxillofacial soft-tissue defects related to war and traumatic injuries. *Mil Med Res.* 2014;1(1):11.

32. He Y, Xue G, Fu J. Fabrication of low cost soft tissue prostheses with the desktop 3D printer. *Sci Rep.* 2014;4:6973.

33. Watson J, Hatamleh MM. Complete integration of technology for improved reproduction of auricular prostheses. *J Prosthet Dent.*

2014;111(5):430-6.

34. Artioli BO, Maluf NN, Roxo VGL. Produção de um protótipo de prótese de pavilhão auricular [monografia]. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo; 2014.

35. Nuseir A, et al. Improved construction of auricular prosthesis by digital technologies. *J Craniofac Surg.* 2015;26(6):e502-5.

36. Moretto E, et al. Elaboração de próteses auriculares individualizadas por meio de manufatura auxiliada por computador. In: *Brazilian Symposium on Computing Applied to Health (SBCAS)*; 2016; Porto Alegre. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação; 2016. p. 2461-70. doi:10.5753/sbcas.2016.9892.

37. Mohammed MI, et al. Advanced auricular prosthesis development by 3D modeling and multi-material printing. *KnE Eng.* 2017:37-43.

38. Yadav S, et al. CAD/CAM-assisted auricular prosthesis fabrication for a quick, precise, and more retentive outcome: a clinical report. *J Prosthodont.* 2017;26(7):616-21.

39. Jamayet NB, et al. A fast and improved method of rapid prototyping for ear prosthesis using portable 3D laser scanner. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2018;71(6):946-53.

40. Mohammed MI, et al. Augmented patient-specific facial prosthesis production using medical imaging modeling and 3D printing technologies for improved patient outcomes. *Virtual Phys Prototyp.* 2018;13(3):164-76.

41. Sarkar MA, Chahar P, Gowda EM, Prakash P. Rehabilitation of a patient of traumatic anotia using computer aided designing and rapid prototyping. *Int J Contemp Med Res.* 2019;6(1):A18-A21.

42. Unkovskiy A, et al. Additive manufacturing: a comparative analysis of dimensional accuracy and skin texture reproduction of auricular prostheses replicas. *J Prosthodont.* 2019;28(2):e460-8.

43. Unsal GS, Turkyilmaz I. Improved recon-

struction of an implant-retained auricular prosthesis using CAD/CAM technology. *J Dent Sci.* 2019;14(3):328.

44. Cevik P, Kocacikli M. Three-dimensional printing technologies in the fabrication of maxillofacial prosthesis: a case report. *Int J Artif Organs.* 2020;43(5):343-7.

45. Cruz RL, et al. Advancements in soft-tissue prosthetics part A: the art of imitating life. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020;8:121.

46. Manju V, et al. Rapid prototyping technology for silicone auricular prosthesis fabrication: a pilot study. *J Head Neck Physicians Surg.* 2021;9(1):35-40.

47. Bi Y, Zhou M, Wei H. Digital workflow for auricular prosthesis fabrication with a negative mold. *J Prosthet Dent.* 2024;131(6):1254-8.

48. Singh K, Bhandari SK. Rehabilitation of a patient with anotia with implant-retained silicone auricular prosthesis using custom fabricated abutments and bar: a case report. *Int J Prosthodont Restor Dent.* 2022;12(1):42-5.

49. Netshilindi N, Asia-Michaels W, Maart R. An innovative digital workflow for the fabrication of a prosthetic ear: a case report. *S Afr Dent J.* 2023;78(2):92-6.

50. Sharma S, et al. Reverse engineering and CAD/CAM application in the design of maxillofacial prosthesis. *Int J Interact Des Manuf (IJIDeM).* 2025;19(2):1179-93.

51. Hatamleh MM, Hatamlah HM, Nuseir A. Use of 3-dimensional imaging and manufacturing for bilateral auricular prostheses: A case series of six patients with congenital auricular defects. *J Prosthet Dent.* 2024;132(5):1076-81.

52. Kasahara T, et al. Accuracy of the Conventional Facial Impression Method and Three-Dimensional Auricular Shape Data Obtained Using Extra-and Intraoral Optical Scanners. *Dent J.* 2024;12(11):354.

53. Kim M, et al. One-year results of ear reconstruction with 3D printed implants. *Yonsei Med J.* 2024;65(8):456-62.

54. Capotorto E, et al. Toward improved auricle reconstruction: The role of FDM 3D printing with PCL and TPU materials. *Biomater Adv.* 2025;169:214175.

55. İnal CB, Ayten UC, Nemli SK. Replacement implant-retained ear prosthesis using a semidigital workflow: A case report. *Int J Prosthodont.* 2025;38(2).

56. İnal CB, Bankoğlu GM, Karakoca NS. Using a smartphone three-dimensional scanning application (Polycam) to three-dimensionally print an ear cast: a technique. *J Prosthet Dent.* 2025;133(3):926-8.

57. Kaul RD, et al. A comparison of the accuracy and feasibility of a low-cost mobile application versus higher-cost handheld 3D scanner for digital ear prosthetics. *ANZ J Surg.* 2025;95(4):719-26.

58. Gadallah MA, Khamis MM, Abdelhamid AM, Ezzelarab S. Evaluation of the use of different intraoral scanners for auricular prosthetic reconstruction. *J Prosthet Dent.* 2025;134(2):513-9. doi:10.1016/j.prosdent.2023.09.028.

59. Nightingale RC, Price GL, Pickering E, Powell SK, Woodruff MA. Comprehensive smartphone-based 3D scanning framework for capturing the external ear. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2025;108:26-33.

AGRADECIMENTOS, APOIO FINANCEIRO OU TÉCNICO, DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE FINANCEIRO E/OU DE AFILIAÇÕES:

Agradecimento à FINEP, Rede INOVATA Finep (Projeto 2174/22), CNPq (Projeto 443769/2023-0) e (projeto 312022/2025-5).