

Desempenho Mecânico de Resinas para Base de Prótese Total Fabricadas por CAD-CAM, Impressão 3D e Polimerização por Calor após Envelhecimento: Revisão Integrativa da Literatura

Mechanical Performance of Resins for Complete Denture Bases Manufactured by CAD-CAM, 3D Printing and Heat Polymerization after Aging: Integrative Literature Review

Rendimiento Mecánico de Resinas para Bases de Prótesis Completas Fabricadas por CAD-CAM, Impresión 3D y Polimerización Térmica tras el Envejecimiento: Revisión Integradora de la Literatura

Vitória Caroline Pereira da **SILVA**

Graduanda em Odontologia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 50670-901, Recife – PE, Brasil
<https://orcid.org/0009-0002-6879-4794>

Sandro Matheus Albuquerque da **SILVA**

Graduando em Odontologia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 50670-901, Recife – PE, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-0464-6461>

Viviane Maria Gonçalves de **FIGUEIREDO**

Professora Adjunta, Departamento de Prótese e Cirurgia Buco-Facial, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 50670-901, Recife – PE, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-4657-0984>

Resumo

Introdução: O Polimetilmetacrilato (PMMA) termopolimerizado é amplamente utilizado na confecção de bases de prótese total devido à sua biocompatibilidade e desempenho clínico favorável. Métodos digitais, como CAD-CAM e impressão 3D, estão sendo propostos como alternativas ao PMMA. O avanço na pesquisa desses novos materiais pode melhorar o cuidado e a qualidade de vida dos usuários de próteses dentárias. **Objetivo:** Revisar a literatura sobre o desempenho mecânico de resinas para bases de prótese total fabricadas por CAD-CAM, impressão 3D e polimerização por calor após envelhecimento. **Material e Método:** A revisão seguiu a estratégia PICO e incluiu artigos publicados entre 2020 e 2025, em português e inglês, encontrados na BVS, PubMed e Science Direct. A busca abrangeu descritores, sinônimos e termos de título e resumo. Os critérios de inclusão foram estudos in vivo e in vitro que comparavam resinas polimerizadas por calor com resinas fabricadas digitalmente, focando em resistência mecânica e envelhecimento. Excluíram-se estudos que não abordaram diretamente essas comparações ou que não avaliaram desempenho mecânico. **Resultados:** Foram incluídos quatro artigos, todos com baixa evidência científica. Três artigos indicaram que as resinas fabricadas por métodos digitais apresentaram maior resistência à fratura após envelhecimento. **Conclusão:** As resinas fabricadas por métodos digitais mostraram maior resistência ao envelhecimento em comparação com as resinas polimerizadas por calor.

Descritores: Prótese Dentária; Impressão Tridimensional; Polímeros; Resistência à Flexão.

Abstract

Introduction: Heat-polymerized polymethyl methacrylate (PMMA) has been widely used in the fabrication of complete denture bases due to its biocompatibility and favorable clinical performance. Digital methods, such as CAD-CAM and 3D printing, are being proposed as alternatives to PMMA. Advances in the research of these new materials may improve care standards and the quality of life for denture wearers. **Objective:** To review the literature on the mechanical performance of denture base resins fabricated by CAD-CAM, 3D printing, and heat polymerization after aging. **Material and Methods:** The review followed the PICO strategy and included articles published between 2020 and 2025 in Portuguese and English, retrieved from BVS, PubMed, and Science Direct. The search included descriptors, synonyms, and terms in titles and abstracts. Inclusion criteria were in vivo and in vitro studies comparing heat-polymerized resins with digitally fabricated resins, focusing on mechanical resistance and aging. Exclusion criteria were studies that did not directly address these comparisons or did not assess mechanical performance. **Results:** Four articles were included, all with low scientific evidence. Three articles indicated that resins fabricated by digital methods showed higher fracture resistance after aging. **Conclusion:** Resins fabricated by digital methods showed greater resistance to aging than heat-polymerized resins.

Descriptors: Dental Prosthesis; Printing, Three-Dimensional; Polymers; Flexural Strength.

Resumen

Introducción: El polimetilmetacrilato (PMMA) termopolimerizado ha sido ampliamente utilizado en la confección de bases de prótesis completas debido a su biocompatibilidad y rendimiento clínico favorable. Actualmente, se proponen métodos digitales, como CAD-CAM e impresión 3D, como alternativas al PMMA. El avance en la investigación de estos nuevos materiales puede mejorar los estándares de atención y la calidad de vida de los usuarios de prótesis dentales. **Objetivo:** Revisar la literatura sobre el rendimiento mecánico de resinas para bases de prótesis completas fabricadas por CAD-CAM, impresión 3D y polimerización por calor después del envejecimiento. **Material y Métodos:** La revisión siguió la estrategia PICO e incluyó artículos publicados entre 2020 y 2025, en portugués e inglés, recuperados de BVS, PubMed y Science Direct. La búsqueda incluyó descriptores, sinónimos y términos en los títulos y resúmenes. Los criterios de inclusión fueron estudios in vivo e in vitro que compararan resinas polimerizadas por calor con resinas fabricadas digitalmente, centrados en la resistencia mecánica y el envejecimiento. Los criterios de exclusión fueron estudios que no abordaron directamente estas comparaciones o que no evaluaron el rendimiento mecánico. **Resultados:** Se incluyeron cuatro artículos, todos con baja evidencia científica. Tres artículos indicaron que las resinas fabricadas por métodos digitales mostraron mayor resistencia a la fractura después del envejecimiento. **Conclusión:** Las resinas fabricadas por métodos digitales mostraron mayor resistencia al envejecimiento que las resinas polimerizadas por calor.

Descriptores: Prótesis Dental; Impresión Tridimensional; Polímeros; Resistencia Flexional.

INTRODUÇÃO

O Polimetilmetacrilato (PMMA) termopolimerizado tem sido por décadas amplamente utilizado na confecção da base de prótese total, devido à sua biocompatibilidade e

favorável desempenho clínico. Atualmente, métodos digitais de adição e subtração são propostos em substituição ao PMMA. O avanço de pesquisas sobre esses novos materiais, adotados para os métodos digitais, pode contribuir para um padrão mais elevado de cuidado e melhoria da

qualidade de vida dos usuários de prótese dentária¹.

Dessa forma, a partir dos sistemas de projeto auxiliado por computador (*Computer-Aided Design* - CAD) e manufatura auxiliada por computador (*Computer-Aided Manufacturing* - CAM), é possível fabricar próteses totais por meio de discos de acrílico totalmente polimerizados ou pré-polimerizados, utilizando o método substrutivo como a fresagem, ou através de resinas polimerizáveis pelo método aditivo, a impressão tridimensional (3D)². A partir de um estudo clínico, que avaliou a percepção de pacientes em relação às próteses fabricadas por métodos distintos, convencional, fresada em CAD-CAM e impressa 3D, identificou-se que todos os materiais testados são adequados para confecção da base da prótese, devido a ausência da diferença de retenção entre os materiais³.

A literatura relata que as resinas para base de prótese fresadas por CAD-CAM são processadas em condições altamente controladas e que nenhuma contração ocorre no corte, pois a quantidade de monômero residual é mínima e a polimerização é concluída antes mesmo da fabricação da prótese. Por esse motivo este tipo de resina tem apresentado bons resultados, apesar da precisão da fresa depender do tamanho e da eficiência do corte⁴. O processamento dessas resinas através do sistema CAD-CAM promove uma redução no número de sessões clínicas para a confecção da prótese, além do fato de existir o armazenamento de dados para se necessário executar um novo tratamento ou intervenção futura^{5,6}. Contudo, o método da fresagem resulta em uma grande quantidade de resíduos após o processo, também são necessárias grandes quantidades de material e há limitação de produção em massa, visto que cada peça é fresada de forma unitária^{7,8}.

Em contraste a manufatura de subtração descrito anteriormente, a impressão 3D executada pela manufatura aditiva, é confeccionada a partir de um arquivo de CAD criando uma série de cortes transversais e impresso em camadas até a formação do objeto em questão. Tendo como uma de suas vantagens a produção de vários elementos de forma simultânea⁸. Assim, a impressão 3D oferece uma alternativa viável de tratamento para a perda dentária total, sua aplicação na clínica ainda não é generalizada devido aos custos relativamente elevados dos equipamentos e materiais, à acessibilidade limitada aos materiais e a falta de pesquisas extensas sobre suas propriedades mecânicas e físicas².

Estudos que investigam o efeito da termociclagem na topografia da superfície e na resistência à fratura de resinas aplicadas para bases de próteses fabricadas digitalmente são poucos⁹. Por isso, é essencial testar o

comportamento mecânico dos materiais com essa indicação sob condições que se aproximem dos cenários orais². Com base no exposto, objetivou-se revisar a literatura de forma integrativa sobre o desempenho mecânico de resinas para base de prótese total fabricadas por CAD-CAM, impressão 3D e polimerização por calor após envelhecimento.

MATERIAL E MÉTODO

○ Pergunta norteadora

A pergunta norteadora para o estudo de revisão integrativa foi: “O desempenho mecânico de resinas para base de prótese total fabricadas por tecnologias digitais, CAD-CAM e impressão 3D, são semelhantes ou superiores às resinas fabricadas por polimerização por calor após envelhecimento?”

○ Método

Tratou-se de uma Revisão Integrativa da Literatura que sintetiza as pesquisas disponíveis sobre a temática a ser abordada e direciona a prática, fundamentando-se em conhecimento científico, com a estruturação da pesquisa baseada na estratégia PICO. A estratégia PICO desta revisão foi direcionada pelos seguintes elementos: População - pacientes adultos ou idosos com edentulismo e necessidade de prótese dentária; Intervenção - Prótese Total Removível fabricada por tecnologia digital (CAD-CAM e impressão 3D), Controle - Prótese Total Removível fabricada a partir de métodos que utilizem a polimerização por calor; por fim “Outcome” - Próteses Totais Removíveis fabricadas por tecnologia digital apresentam desempenho mecânico após envelhecimento semelhante às Próteses Totais Removíveis fabricadas a partir de métodos que utilizem a polimerização por calor.

○ Critério de elegibilidade

A presente revisão da literatura apresentou a estratégia de busca ((denture base resin) AND (conventional Denture Base Materials) AND (digital technology OR ((3D printing OR 3d printing) AND (CAD-CAM)) Denture Base Materials) AND (mechanical properties)) a ser realizada nas bases de dados: Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) <https://bvsalud.org/>; Pubmed <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>, e Science Direct <https://www.sciencedirect.com/>. Foram adotados artigos publicados em português e inglês, entre 2020 a 2025, sendo a pesquisa executada no mês de fevereiro de 2025. Os termos-chave da estratégia de busca foram baseados em descritores, sinônimos, termos presentes em título e resumo. Além de ser adotado para a base de dados Science Direct filtros como artigos de pesquisa, área medicina e odontologia. Por fim, foi realizada uma busca manual, por meio das referências apresentadas pelos artigos incluídos na revisão.

Os critérios de inclusão nesta revisão foram

estudos com artigos de pesquisa *in Vivo* e *in Vitro*, que comparavam a resina para base de prótese polimerizada por calor e as resinas para base de prótese fabricadas por métodos digitais (CAD-CAM e impressão 3D), bem como artigos sobre resistência mecânica e envelhecimento. Os critérios de exclusão foram estudos que não compararam a resina impressas 3D, a resina fresada por CAD-CAM e as resinas polimerizadas por calor para base da prótese, pesquisas que não avaliaram o desempenho mecânico e envelhecimento das resinas a serem revisadas, estudos sobre outras temáticas que não abordassem o objetivo em estudo, caso clínico, estudo de caso, artigos de opinião, pesquisa piloto, dissertação ou tese não publicados no formato de artigo, revisão da literatura, revisão sistemática e metanálise.

o *Seleção do estudo*

Os títulos e resumos de todos os trabalhos foram analisados por dois revisores (VCPS e VMGF). Todos os estudos que preencheram os critérios de inclusão foram selecionados para leitura do texto completo e incluídos para extração dos dados, enquanto eram registradas as razões para a exclusão.

o *Extração dos dados*

Os dados completos dos textos selecionados foram extraídos pelos revisores. A coleta de dados foi baseada nos resultados sobre resistência mecânica e envelhecimento das resinas para base de prótese.

o *Análise dos dados*

Os dados foram coletados e incluídos em Tabelas, a extração dos dados das pesquisas incluídas foi feita através da criação de tabela padronizada no Word. O nível de evidência científica foi baseado na classificação do "Oxford Centre for Evidence-based Medicine", citada no artigo de Demathé *et al.*¹⁰ A extração de todos os dados foi realizada por dois revisores e a partir dos dados obtidos foram criadas tabelas a fim de sumarizar os achados.

RESULTADOS

o *Artigos Incluídos*

Nas bases de dados Pubmed, BVS e Science Direct foram identificados artigos passíveis de serem incluídos na pesquisa. Os artigos excluídos abordavam sobre: revisão sistemática (03); revisão de literatura (07); arquivo de tese de doutorado (01); resina impressa 3D modificada com nanopartículas (14); pesquisas que não comparavam resinas a serem revisadas (41); estudos sobre biofilme, limpeza e estabilidade de cor (42); pesquisa sobre variáveis da impressão 3D (32); avaliação da análise superficial (29); pesquisa sobre adesão (14); estudo piloto (03); avaliação sobre deposição de resina para base de prótese (02), pesquisas que não abordaram

envelhecimento das resinas (02); estudos sobre a composição química das resinas (02); análise de custo-eficiência das resinas/próteses digitais (08); estudos de casos (19); pesquisa sobre implantes dentários (24); avaliação de citotoxicidade (08); análise de desgaste (03); pesquisa sobre materiais isolados (01); uso do scanner facial (01); análise da carga mastigatória (01); estudo sobre armazenamento, porém não avaliava propriedades mecânicas (01); estudo sobre resina para guia cirúrgico (01); pesquisa sobre inteligência artificial (01); artigo sobre zircônias e outros materiais de uso odontológico (32); pesquisas sobre pinos e núcleos (03); artigo sobre endodontia, ortodontia e cirurgia (05); estudo biomecânico (01); pesquisa sobre fusão de seleitiva à laser (02); resina para placa miorrelaxante (01) e pesquisa sobre temática médica (01).

Dessa forma, foram rastreados 07 artigos através do Pubmed e 03 artigos pelo Science Direct. Dentre os artigos rastreados através da Pubmed, 04 artigos foram excluídos por não compararem os três tipos de resinas em estudo (01 artigo) e por não abordarem sobre o envelhecimento do material (03). No Science Direct, 02 artigos excluídos por não apresentar envelhecimento do material (01) e não avaliar propriedade mecânica das resinas (01). Em seguida, 04 artigos foram selecionados para serem avaliados quanto à elegibilidade, sendo 03 artigos do Pubmed e 01 artigo do Science Direct. Após a leitura completa dos artigos selecionados, foram incluídos para extração e análise dos dados, assim 03 artigos incluídos e 01 artigo foi excluído por não comparar as resinas pesquisadas. Por fim, a partir da busca manual 01 artigo também foi incluído para pesquisa, totalizando 04 artigos incluídos. A Tabela 1 mostra a qualidade dos artigos revisados; a Figura 1 a busca e a seleção dos artigos e as Tabelas 2 a 4, a summarização dos achados.

Tabela 1. Autor (ano), Grau de Recomendação e Nível de Evidência Científica baseado em Demathé *et al.*¹⁰

Autor (Ano)	Grau de Recomendação	Nível de Evidência
Bento <i>et al.</i> (2024)	D	1B
Yu <i>et al.</i> (2024)	D	2C
Temizci e Bozoğulları (2024)	D	1B
Alhotan <i>et al.</i> (2025)	D	1B

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 2. Característica dos estudos

Bento <i>et al.</i> (2024) ¹¹	
Objetivos	Investigar as propriedades mecânicas de resinas à base de prótese em diferentes tempos de envelhecimento fabricadas pelo método convencional, fresagem e impressão 3D.
Tipo de Estudo	<i>In vitro</i>
Variáveis	Diferentes tempos de envelhecimento (T0 sem envelhecimento, T1, T2 e T3); Diferentes processamentos/métodos
n amostral	Barra 64 × 10 × 3,3 mm (n=10)
Grupo Experimental	16 grupos; Convencional por ciclo de banhos T0, T1, T2, T3; Convencional por microondas T0, T1, T2, T3; Fresado CAD-CAM T0, T1, T2, T3; Impresso 3D T0, T1, T2, T3
Análises	Microdureza Knoop; Resistência à flexão 3 pontos; Módulo de elasticidade
Envelhecimento	Termociclagem 5.000 (T1), 10.000 (T2) e 20.000 (T3) ciclos. em água destilada com banhos alternados de 30 segundos na temperatura de 5° ± 1°C e 55 °± 1°C

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 2 (continuação). Característica dos estudos

Yu et al. (2024)12	
Objetivos	Comparar as propriedades de diferentes resinas para base de prótese e observar as mudanças nas propriedades de cada material sob condições intra orais simuladas por termociclagem
Tipo de Estudo	<i>In vitro</i>
Variáveis	Diferentes processamentos/métodos Envelhecimento
n amostral	Barra - 64 × 10 × 3,3 mm (n=10) Bloco - 30×10×3,3 mm (n= 1) Discos - 20 x 2 mm (n= 1)
Grupo Experimental	6 grupos Impresso 3D (Grupo P com e sem envelhecimento) Fresado CAD-CAM (Grupo M com e sem envelhecimento) Convenional (Grupo C com e sem envelhecimento)
Análises	Resistência à flexão 3 pontos ; Módulo Flexural; Análise mecânica dinâmica (DMA); Teste de nanoindentação; Análise de fratura
Envelhecimento	Termociclagem 10.000 ciclos. em água destilada com banhos alternados de 30 segundos na temperatura de 5° ± 1°C e 55 °± 1°C
Temizci e Bozoğulları et al. (2024)2	
Objetivos	Comparar o impacto da ciclagem térmica na resistência à flexão de materiais de base de prótese produzidos por métodos convencionais e digitais, usando abordagens subtrativas e aditivas.
Tipo de Estudo	<i>In vitro</i>
Variáveis	Diferentes processamentos/métodos Envelhecimento
n amostral	Barras - 64 mm × 10 mm x 3,3 mm (n=10)
Grupo Experimental	6 grupos Convenional (com e sem envelhecimento) Fresado CAD-CAM (com e sem envelhecimento) Impresso 3D (com e sem envelhecimento)
Análises	Resistência à flexão 3 pontos
Envelhecimento	Termociclagem 5.000 ciclos. em água destilada com banhos alternados de 30 segundos na temperatura de 5° ± 1°C e 55 °± 1°C
Alhotan et al. (2025)13	
Objetivos	Avaliar e comparar a resistência à flexão de resinas para base de dentadura fabricadas por três técnicas diferentes após envelhecimento simulado.
Tipo de Estudo	<i>In vitro</i>
Variáveis	Diferentes processamentos/métodos Diferentes métodos de avaliar a resistência à flexão
n amostral	Barras - 64 × 10 × 3,3 mm (n=15)
Grupo Experimental	6 grupos Resina polimerizada por calor - Flexão de 3 pontos Resina polimerizada por calor - Flexão de 4 pontos Resina fresada em CAD/CAM - Flexão de 3 pontos Resina fresada em CAD/CAM - Flexão de 4 pontos Resina impressa em 3D - Flexão de 3 pontos Resina impressa em 3D - Flexão de 4 pontos
Análises	Resistência à flexão 3 pontos e 4 pontos Módulo de flexão; Análise de Weibull ; Análise de Fratura
Envelhecimento	Termociclagem 10.000 ciclos. em água destilada com banhos alternados de 30 segundos na temperatura de 5° ± 1°C e 55 °± 1°C

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 3. Materiais para base de prótese por métodos da polimerização por calor

Autor (ano)	Resinas polimerizadas por calor		
	Tipo de Resina (Nome comercial/fabricante)	Composição Química	Técnica de Polimerização
Bento et al. (2024)11	Resina Termopolimerizável (Onda Cryl, Clássico)	-	Convencional
	Resina Termopolimerizável (Onda Cryl, Clássico)	-	Microondas
Yu et al. (2024)12	Resina por injeção (Ivocap/ Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	Pó: copolímero 88,6; polimetilmacrilato 10,0; peróxido de benzoila 0,9; pigmentos <0,5. Líquido: metacrilato de metila 88,4; dimetacrilato (agente de reticulação) 5,6; copolímero 6,0.	Injeção

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 3 (continuação). Materiais para base de prótese por métodos da polimerização por calor

Autor (ano)	Resinas polimerizadas por calor		
	Tipo de Resina (Nome comercial/fabricante)	Composição Química	Técnica de Polimerização
Temizci e Bozoğulları (2024)2	Resina termopolimerizável (Meliolident MD / Kulzer, Berkshire, Germany)	Pó: Metilmacrilato, Etilhexilacrilato, N-octilmacrilato Líquido: Metilmacrilato, glicoldimacrilato, dimetilp-toluidina	Convencional
Alhotan et al. (2025)13	Resina Termopolimerizável (Lucitone-199MT/ Dentsply Sirona)	Pó: PMMA, peróxido de benzoila, pigmentos; Líquido: MMA, EGDMA, inibidor	Convencional

Fonte: Dados da Pesquisa

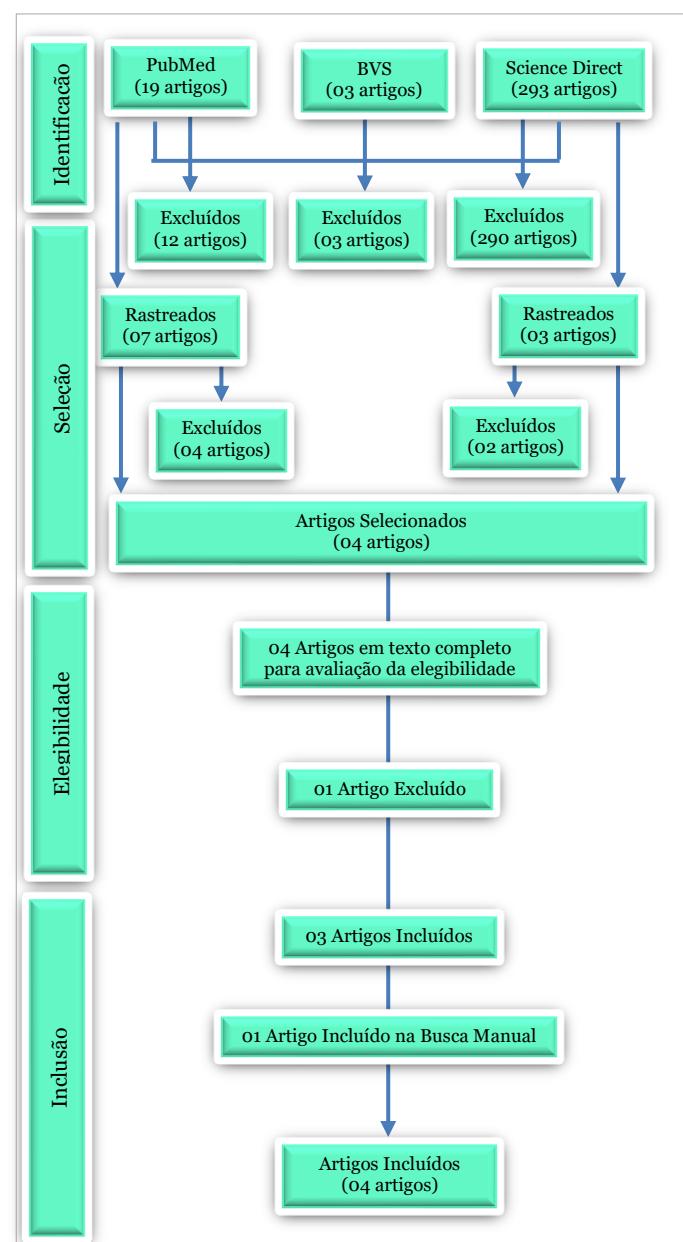


Figura 1: Fluxograma da seleção de artigos incluídos na revisão integrativa (Fonte: Dados da Pesquisa)

Tabela 4: Materiais para base de prótese por métodos digitais.

Bento et al. (2024)¹¹

Resina Fresada por CAD-CAM	Nome comercial/fabricante	BlueDent, Articon
	Composição Química	-
	Fresadora (Fabricante)	Máquina de cinco eixos (SilaMill R5, Siladent)
Resina Impressa 3D	Nome comercial/fabricante	Resina para base de prótese, Smart Dent
	Composição Química	-
	Técnica de Impressão (Fabricante)	Processamento de luz digital (MoonRay Model S, VertySystem)
	Angulação de Impressão	-
	Limpeza	-
	Pós-Cura	-
Yu et al. (2024)¹²		
Resina Fresada por CAD-CAM	Nome comercial/fabricante	Vipi Block Gum / VIPI, São Paulo, Brazil
	Composição Química	Polimetacrilato de metila, pigmentos biocompatíveis, EDMA e fluorescentes
	Fresadora (Fabricante)	Máquina de Fresagem (Multi Slicer ASM420M, Okamoto, Nagoya, Japão)
Resina Impressa 3D	Nome comercial/fabricante	THD / Graphy, Seoul, Korea
	Composição Química	Uretano-dimetacrilato, Oligômero de acrilato de uretano
	Técnica de Impressão (Fabricante)	Processamento de luz digital (Sprint Ray Pro 95, Sprint Ray, Los Angeles, CA, EUA)
	Angulação de Impressão	-
	Limpeza	Banho ultrassônico com álcool isopropílico 90%
	Pós-Cura	25 min em uma máquina de cura equipada com diodos emissores de luz (LEDs) com comprimento de onda de 405 nm e intensidade de luz de 400 mW/cm ² , de acordo com as recomendações do fabricante

Temizci e Bozoğulları (2024)²

Resina Fresada por CAD-CAM	Nome comercial/fabricante	IvoBase CAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
	Composição Química	Discos de PMMA pré-polimerizados 50–100% de metacrilato de metila, 2,5–10% de dimetacrilato de 1,4-butanodiol
	Fresadora (Fabricante)	Fresadora de cinco eixos (HinriMill 5, Goslar, Alemanha)
Resina Impressa 3D	Nome comercial/fabricante	Formlabs (Somerville, MA, USA)
	Composição Química	55–75% p/p; uretano dimetacrilato, 15–25% p/p; monômeros de metacrilato e <0,9% p/p fenil bis(2,4,6-trimetilbenzóil)- fosfina óxido
	Técnica de Impressão (Fabricante)	Estereolitografia (Form 3B+, FormLabs, Somerville, MA, EUA)
	Angulação de Impressão	90º graus
	Limpeza	Banho ultrassônico com álcool isopropílico 90% por 3 min
	Pós-Cura	30+30 min a 60 °C. em uma máquina de pós-cura

Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 4 (continuação): Materiais para base de prótese por métodos digitais.

Alhotan et al. (2025)¹³

Resina Fresada por CAD-CAM	Nome comercial/fabricante	G-CAMMT / Grafenano
	Composição Química	PMMA dopado com grafeno BisEMA
Resina Impressa 3D	Fresadora (Fabricante)	Máquina de fresagem a seco (DWX-51D, Roland DGA, EUA)
	Nome comercial/fabricante	Dentadura TecMT / Saremco Odontológico AG
	Composição Química	Uretonometacrilato, TEGDMA, sílica pirogênica, catalisadores, inibidores, pigmentos
	Técnica de Impressão (Fabricante)	Processamento de luz digital (MAX UV, ASIGA, Sydney, Austrália)
	Angulação de Impressão	90º graus
	Limpeza	Toalha embebida com álcool 96%
	Pós-Cura	4000 flashes de luz

Fonte: Dados da Pesquisa

○ Resistência Mecânica

Nos achados do estudo de Bento et al.¹¹, a resina impressa 3D demonstrou significância estatística ($p < 0,001$) e os maiores valores médios para os dados de resistência à flexão na ausência de envelhecimento, quando comparada às demais resinas testadas. Contudo, a resina de manufatura aditiva apresentou uma queda de valores de MPa, que foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$) ao longo dos tempos de envelhecimento avaliados na pesquisa que representavam 6 (T1), 12 (T2) e 24 (T3) meses. Como também, os valores de valores de resistência dessa resina foram inferiores em relação às outras resinas em estudo durante os distintos ciclos de termociclagem ($p < 0,001$). Em contrapartida, as resinas polimerizadas por calor da pesquisa não apresentaram diminuição expressiva dos valores de resistência mecânica dentre os ciclos de envelhecimento, essa condição não foi estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Já a resina fresada por CAD-CAM apresentou diminuição significativa na resistência à flexão apenas após 24 meses de envelhecimento ($p < 0,05$). Porém, as resinas polimerizadas por calor e fresada por CAD-CAM não apresentaram diferença estatística para os ciclos T1 e T2 (Figura 2).

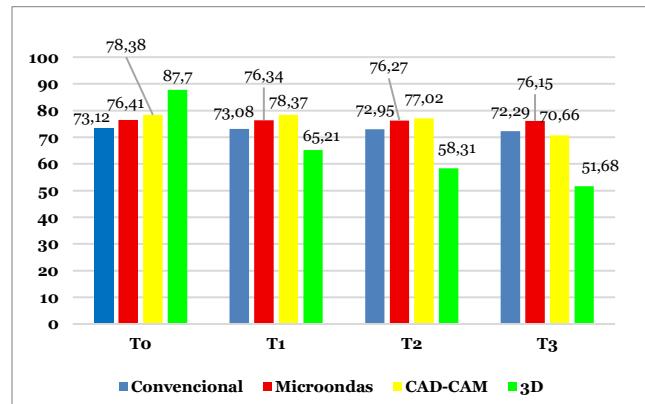


Figura 2: Dados de resistência à flexão (MPa) da pesquisa de Bento et al.¹¹ (Fonte: Dados da Pesquisa).

Os resultados de Yu et al.¹² mostram, que antes e após o envelhecimento, a resistência à flexão da resina impressa 3D se apresentou superior às demais resinas testadas, sendo este achado estatisticamente significativo ($p<0,01$). Enquanto a resina por polimerização por calor obteve uma elevação do valor de Mpa após o envelhecimento, contudo não demonstrou significância estatística ($p>0,05$). Em seguida a resina fresada em CAD-CAM, apresentou decréscimo do valor de resistência flexão após envelhecimento, porém não significativo ($p>0,05$) (Figura 3).

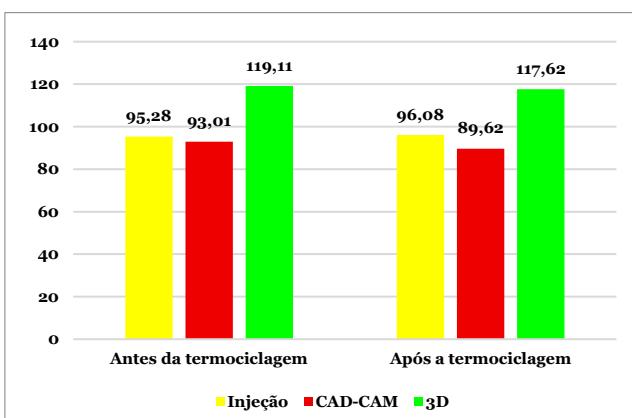


Figura 3: Dados de resistência à flexão (MPa) da pesquisa de Yu et al.¹² (Fonte: Dados da Pesquisa).

A partir dos dados de Temizci e Bozoğulları² (2024), observou-se que há interação estatística entre o tipo de material e envelhecimento ($p=0,047$), sendo a resina impressa 3D o material que apresentou maiores valores médios de resistência antes e após o envelhecimento em comparação com a resina fresada por CAD-CAM e convencional (Figura 4). Contudo, apenas as resinas fabricadas por meios digitais sofreram a ação da termociclagem, enquanto a resina convencional não mostrou diferença estatística ($p>0,05$).

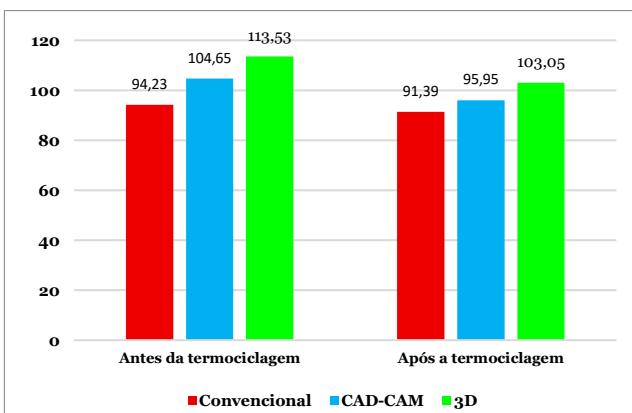


Figura 4: Dados de resistência à flexão (MPa) da pesquisa de Temizci e Bozoğulları² (Fonte: Dados da Pesquisa).

Na pesquisa de Alhotan et al.¹³, os achados indicaram significância estatística ($p<0,001$) para o

tipo de resina e a técnica da resistência à flexão, contudo não houve interação entre as variáveis ($p=0,143$). Vale destacar que a resina fresada por CAD-CAM apresentou os maiores valores médios para resistência à flexão, seguido pela resina impressa 3D e por fim a resina convencional após envelhecimento, sendo esses resultados estatisticamente significativos após envelhecimento ($p<0,001$) (Figura 5).

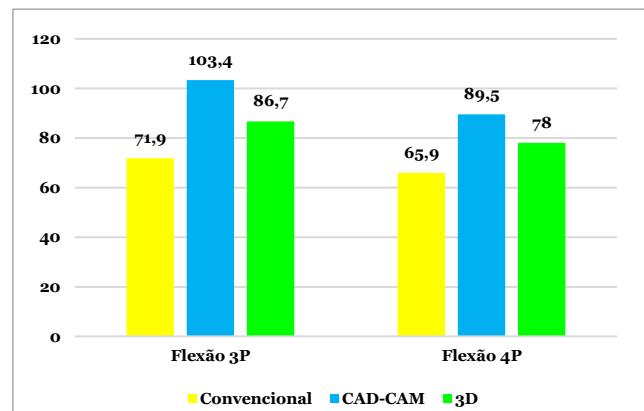


Figura 5: Dados de resistência à flexão (MPa) da pesquisa de Alhotan et al.¹³ (Fonte: Dados da Pesquisa).

DISCUSSÃO

A literatura sobre a temática em questão ainda se apresenta escassa pelo número reduzido de artigos incluídos. Mesmo que alguns artigos tenham sido rastreados, muitos foram excluídos por não compararem os diferentes métodos de fabricação da resina para base de prótese total em relação ao desempenho mecânico após envelhecimento. Quanto ao nível de evidência científica, todos os artigos incluídos para extração dos dados eram pesquisas *in vitro*, consequentemente apresentando baixa evidência em relação aos dados avaliados e restringindo a extrapolação dos resultados para a clínica diária.

Os estudos incluídos nesta revisão observaram desfechos distintos para a resistência mecânica após envelhecimento das resinas para base de prótese total. Os estudos de Yu et al.¹²; Temizci e Bozoğulları² e Alhotan et al.¹³ apresentaram as resinas por métodos digitais superiores às resinas polimerizadas por calor. Enquanto que a pesquisa de Bento et al.¹¹, foi a única que demonstrou maiores valores de Mpa e estabilidade mecânica após envelhecimento para as resinas convencional e processada por microondas. A partir dos achados desta revisão, a pergunta norteadora é respondida de forma positiva, as resinas para base de prótese total fabricadas por métodos digitais apresentaram desempenho mecânico após envelhecimento superior às resinas polimerizadas por calor.

Nos resultados desta revisão, 02 pesquisas apontam a resina impressa 3D com melhor desempenho mecânico após envelhecimento e 01

a resina fresada por CAD-CAM, não havendo homogeneidade entre os métodos de fabricação digitais empregados. Talvez fatores como composição química, microestrutura e contração da resina, técnica e angulação de impressão, limpeza e pós-cura de resinas impressas 3D, o tipo da máquina usada para fresagem poderiam explicar os heterogêneos resultados entre as pesquisas incluídas para revisão^{2,11-15}.

Sobre o desempenho mecânico das resinas para impressão 3D, Yu et al.¹² e Temizci e Bozoğulları² afirmam que os melhores resultados se devem às características do material, a técnica de impressão e a técnica de pós-processamento utilizado. O último fator citado eleva o grau de polimerização destas resinas, por converter em maior número a quantidade de monômeros em polímeros. Este processo é importante, visto que a impressão 3D é executada em camadas de rápida produção, que pode acarretar uma polimerização insuficiente em cada camada adicionada, afetando a reticulação de cadeia estendida. Portanto, quanto maior o tempo usado na etapa pós-cura, melhor será o seu desempenho mecânico². Por isso, pode-se explicar os baixos resultados da resina impressa 3D na pesquisa de Bento et al.¹¹ talvez pela ausência do pós-processamento, desde que o mesmo não esteja descrito no artigo.

A literatura através de Alqutaibi et al.¹⁴ e Jafarpour et al.¹⁵ também apontam a orientação da impressão como parâmetro que pode refletir nos resultados de resistência à flexão do material. Dentre os artigos incluídos na revisão, apenas Alhotan et al.¹³ e Temizci e Bozoğulları² descrevem a orientação de impressão em 90° graus. Na pesquisa de Alqutaibi et al.¹⁴ foram utilizados três tipos de angulação, 0° grau, 45° graus e 90° graus, sendo a primeira angulação que apresentou os mais altos valores de Mpa. Para Jafarpour et al.¹⁵, existe interferência na exposição a diferentes orientações de feixes de luz, conforme a orientação de impressão e a angulação de 90° graus apresentou melhor resistência à flexão. Os diferentes resultados podem ser devido a composição da resina testada, que pode ter diferentes propriedades anisotrópicas e adesão inter-camada.

Em relação a composição química das resinas impressas 3D, foi observado a prevalência de resinas à base de uretano dimetacrilato, vale destacar que o estudo de Bento et al.¹¹ não apresenta a composição da resina em estudo. A escolha do monômero utilizado é crucial para a formulação de uma resina impressa 3D no uso odontológico, por isso é interessante usar os monômeros frequentemente encontrados em polímeros fotoativados como o bisfenol A-glicidil metacrilato (Bis-GMA) e uretano de dimetacrilato (UDMA), também adotados em resina composta.

No entanto, o dimetacrilato tem alto peso molecular e alta viscosidade, que pode interferir na qualidade do objeto impresso. Assim, monômeros não hidroxilados, como o bisfenol etoxilado A-dimetacrilato (Bis-EMA), que possuem menor viscosidade são os melhores a serem usados¹⁶. Também se busca elevar as propriedades físicas e mecânicas destas resinas por manufatura aditiva a partir da adição de nanocompósito de zircônia e TiO₂, a fim de aumentar a durabilidade do material fabricado e serem úteis a longo prazo¹¹. O uso dos oligômeros, que possuem propriedades estáveis, seria uma opção que favorece o desempenho mecânico das resinas impressas 3D como observou-se nos achados de Yu et al.¹².

Dentre os artigos incluídos na revisão de literatura, foram observadas diferentes técnicas de impressão, o Processamento digital de luz (Digital Light Processing - DLP) e a Estereolitografia (Stereolithography - SLA). A impressão 3D foi desenvolvida pela primeira vez por Chuck Hull em 1984, pela técnica da estereolitografia que após o objeto ser criado em um programa CAD, a plataforma no qual o item será construído é imersa em uma resina líquida que é polimerizada através de um feixe de luz ultravioleta. O laser escaneia a resina líquida, no qual a mesma é polimerizada e se torna sólida. Assim, camada por camada do objeto é construída e a plataforma acompanha este processo. Após a impressão, o item passa por um processo de lavagem com um solvente para remover o excesso de resina, e em seguida por uma câmara UV para completar a cura. Geralmente, esta técnica demanda um maior tempo, pois o laser só atinge uma pequena área por vez^{8,17}. A técnica de Processamento digital de luz tem suas semelhanças com a técnica descrita anteriormente, com exceção pelo feixe de luz UV que consegue curar uma camada inteira por vez, a tornando uma técnica mais rápida, e pelo seu dispositivo de microespelho digital, que contém centenas de milhares de pequenos espelhos capazes de se mover em duas direções, milhares de vezes por segundo. Essa técnica constroi um modelo em voxels em vez de camadas, não há etapas visíveis, tornando a qualidade do acabamento a melhor de todas as impressões 3D e menos propensa a erros cometidos por impressões repetidas^{17,18}. A técnica de impressão 3D parece não ter sido um fator que influenciou os resultados mecânicos após envelhecimento das pesquisas, devido a maioria dos artigos terem adotado a mesma técnica.

Em relação às resinas fresadas por CAD-CAM, a pesquisa de Alhotan et al.¹³ confere melhor desempenho mecânico destas resinas em decorrência da estrutura polimérica ser altamente reticulada, de porosidade e contração mínima comparado com outros os materiais resinosos,

refletindo maior capacidade de resistir ao estresse. Além disso, a resina em questão possui grafeno na composição química, um elemento que enriquece e potencializa a resistência mecânica. Talvez a composição química foi o diferencial para o melhor desempenho mecânico da resina fresada por CAD-CAM no estudo citado. Nos relatos de Yu et al.¹² e Temizci e Bozoğulları² a base da resina fresada apresenta PMMA e a pesquisa de Bento et al.¹¹ não relata a composição química do material estudado.

Em consonância com o desempenho mecânico das resinas de manufatura subtrativa está a análise de fratura, em Alhotan et al.¹³ os espécimes fresados por CAD-CAM e impressos 3D exibiram superfícies de fratura mais densas e uniformes com evidências mínimas de rachaduras ou deformações, sugerindo homogeneidade superior do material e resistência ao estresse. As resinas fresadas por CAD/CAM demonstraram os menores defeitos inerentes e as amostras impressas 3D, as quais revelaram camadas distintas e pequenos vazios, sugerindo desempenho superior nas primeiras e desempenho moderado nas últimas. Já os dados fractográficos de Yu et al.¹², a resina fresada por CAD CAM mostra uma superfície bastante irregular, sulcada e áspera, além de secção transversal parcialmente rasgada, revelando seu desempenho inferior em comparação com os materiais em questão.

Dentre os estudos incluídos na revisão, foi observado uma heterogeneidade dos modelos de fresadoras, fator que pode interferir nos resultados devido a capacidade de cada equipamento na reprodução dos espécimes. Atualmente existem diversos tipos de sistemas CAD-CAM, cada um com suas características e limitações. De modo geral, as máquinas são controladas por computadores e realizam os procedimentos de usinagem em alta precisão a partir de uma lista de movimentos de um código específico. Esse código permite o controle simultâneo de vários eixos, efetuando o corte da matéria prima¹⁹. Existem algumas características da fresadora que podem afetar na qualidade do produto final, como o peso da fresadora, fresadoras leves podem vibrar ou se deslocar com mais facilidade o que resulta em limitações na usinagem. Em contrapartida, as máquinas maiores apresentam mais estabilidade e maior capacidade de copiar pequenos detalhes, devido a quantidade de eixos que ela possui. Assim, quanto menos eixos uma máquina possui, menor é a sua capacidade, porém isso também afeta significativamente no quesito financeiro⁴.

A partir dos métodos polimerizados por calor nesta revisão, apenas a pesquisa de Bento et al.¹¹ destacou com o melhor resultado mecânico e a longo prazo para resina processada de forma convencional e por micro-ondas em relação às resinas fabricadas por métodos digitais. Em

contrapartida, os grupos polimerizados por calor nas demais pesquisas incluídas muitas vezes não sofreram ação do envelhecimento, mas alcançaram valores de MPa aquém das resinas fabricadas por métodos digitais. Os métodos que utilizam a polimerização por calor são compostos por etapas laboratoriais até o resultado do produto final, que em decorrer disso muitas variações podem ocorrer e afetar as suas propriedades. Como por exemplo, no momento da reação química pode vir a ocorrer maior contração durante a polimerização, mudanças na sua densidade e comprometimento das suas propriedades mecânicas²⁰. Tais relatos podem justificar os resultados obtidos nas pesquisas de Yu et al.¹², Temizci e Bozoğulları² e Alhotan et al.¹³. Nos achados fractográficos de Alhotan et al.¹³, os espécimes convencionais exibiram superfícies de fratura altamente irregulares e ásperas com grandes vazios visíveis, sugerindo áreas de polimerização incompleta e refletindo baixa resistência ao estresse. A análise microestrutural da resina convencional tem demonstrado porosidade superior a resina impressa 3D, dessa forma com a ação da termociclagem os valores de resistência à fratura podem ser reduzidos significativamente²¹.

Nesta revisão integrativa da literatura foram incluídos apenas artigos que abordassem a ação do envelhecimento quanto ao desempenho mecânico das resinas de base de prótese total. Devido o ambiente oral ser termicamente dinâmico com alterações de temperatura, as quais podem impactar sobre as propriedades de um material resinoso². Dentre as pesquisas revisadas, apenas foi observada a ação da termociclagem como envelhecimento, com ciclos variando de 5.000 a 20.000 que correspondem de 6 a 24 meses de uso, conforme Bento et al.¹¹. A ciclagem térmica é um método que aproxima o material da realidade da degradação intra-oral, e assim pode afetar na sua resistência mecânica². O fator envelhecimento foi significativo para as resinas por fabricação digital, mas não para as resinas polimerizadas por calor, talvez por estas suportarem elevadas temperaturas no processamento²¹¹. Apenas para Yu et al.¹² a variável em questão não foi significativa entre as três resinas em estudo. Por fim, a pesquisa de Alhotan et al.¹³ não apresentava o fator envelhecimento como uma variável.

Os materiais para base de prótese devem ter uma resistência à flexão mínima de 65 MPa para serem considerados aptos a serem extrapolados para o uso clínico, a partir da ISO 20795-1:2013²². Dessa forma, todos os materiais apresentados pelos artigos incluídos nesta revisão, resina convencional, resina polimerizada em microondas, resina por injeção, resina fresada por CAD-CAM, resina impressa 3D, após o envelhecimento sugerem desempenho mecânico suficiente conforme o mínimo recomendado. Com exceção da

resina impressa 3D em simulação de 12 e 24 meses no estudo de Bento et al.¹², que apresenta resistência à flexão de 58,31 MPa e 51,68 MPa, respectivamente.

A limitação desta revisão de literatura se deve ao reduzido número que abordasse o desempenho mecânico de resinas polimerizadas por calor, fresada por CAD-CAM e impressa 3D após envelhecimento. Além de pesquisas com baixa evidência científica, desde que apenas estudos *in vitro* foram filtrados durante a busca nas bases de dados. Assim como a falta de informações dos estudos quanto à composição química de todos os materiais pesquisados, etapas de processamento como limpeza e pós-cura das resinas impressas 3D.

Novos estudos, que comparem distintos processamentos de resinas para base de prótese total, devem ser propostos sobre a resistência mecânica após o envelhecimento. A fim de buscar realizar pesquisas com espécimes anatômicos, envelhecimentos mais próximos de simular o meio oral por exemplo termomecânico, estudos que representem maior evidência científica para favorecer a extração dos dados para a clínica diária das resinas fabricadas por métodos digitais.

CONCLUSÃO

Os achados da revisão de literatura apresentaram maior número de estudos que demonstram melhor desempenho mecânico após envelhecimento das resinas para base de prótese total fabricadas por métodos digitais em comparação às resinas polimerizadas por calor. As resinas para base de prótese fresadas em CAD-CAM e impressas 3D parecem representar uma promissora inovação na Odontologia, contudo necessitam de evidências científicas mais robustas em relação à resistência mecânica após envelhecimento.

REFERÊNCIAS

- Chander NG, Mahajan A. Comparison of cytotoxicity between 3D printable resins and heat-cure PMMA. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2024;14(1):107-10.
- Temizci T, Bozoğulları HN. Effect of thermal cycling on the flexural strength of 3-D printed, CAD/CAM milled and heat-polymerized denture base materials. *BMC Oral Health.* 2024;24(1):357.
- Maniewicz S, Ortensi L, Masci C, Sorrentino R, Gherlone E, Rumi G. Fit and retention of complete denture bases: Part I—Conventional versus CAD-CAM methods: A clinical controlled crossover study. *J Prosthet Dent.* 2024.
- Arora O, Samra RK, Bansal S, Nanda A. Denture base materials: An *in vitro* evaluation of the mechanical and color properties. *J Dent.* 2024;145:104993.
- Kattadiyil MT, AlHelal A, Goodacre BJ, Baba NZ, Kattadiyil DS, Jekki R. Comparison of treatment outcomes in digital and conventional complete removable dental prosthesis fabrications in a predoctoral setting. *J Prosthet Dent.* 2015;114(6):818-25.
- Kattadiyil MT, Goodacre CJ, Baba NZ. CAD/CAM complete dentures: a review of two commercial fabrication systems. *J Calif Dent Assoc.* 2013;41(6):407-16.
- Grande F, Silva J, Magalhães C, Silva A, Gomes J. Comparison of the accuracy between denture bases produced by subtractive and additive manufacturing methods: A pilot study. *Prosthesis.* 2022;4(2):151-9.
- Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater.* 2012;28(1):3-12.
- Abdul-Monem MM, Hanno KI. Effect of thermocycling on surface topography and fracture toughness of milled and additively manufactured denture base materials: an *in-vitro* study. *BMC Oral Health.* 2024;24(1):267.
- DeMathe A, Camargo LB, Romano AR. Odontologia baseada em evidências: otimizando a prática e a pesquisa. *RFO UPF.* 2012;17(1):96-100.
- Bento VAA, Carvalho CN, Sardi JCO, Borges ALS, Neppelenbroek KH. Effect of aging on the mechanical properties of CAD/CAM-milled and 3D-printed acrylic resins for denture bases. *Int J Prosthodont.* 2024;37:5-11.
- Yu HJ, Lim YJ, Lee JH, Kim YH. A comparison of the mechanical properties of 3D-printed, milled, and conventional denture base resin materials. *Dent Mater J.* 2024;43(6):813-21.
- Alhotan A, Silikas N, Watts DC. Effect of uniaxial bending methods on the flexural strength and Weibull analysis of heat-polymerized, CAD/CAM milled, and 3D-printed denture base resins. *Dent Mater.* 2025.
- Alqtaibi AY, Alshamrani M, Alqahtani F, Alkhaldi H, Almaliki A, Alnamel H, et al. Physical-mechanical properties and accuracy of additively manufactured resin denture bases: Impact of printing orientation. *J Prosthodont Res.* 2025.
- Jafarpour D, Mosharraf R, Khosravani MR, Atai M. Effects of DLP printing orientation and postprocessing regimes on the properties of 3D printed denture bases. *J Prosthet Dent.* 2025.
- Lin CH, Lin YH, Hung CJ, Lin HY, Lee SY. Mechanical properties, accuracy, and cytotoxicity of UV-polymerized 3D printing resins composed of Bis-EMA, UDMA, and TEGDMA. *J Prosthet Dent.* 2020;123(2):349-54.
- Groth C, Kravitz ND, Jones PE, Graham JW, Redmond WR. Three-dimensional printing technology. *J Clin Orthod.* 2014;48(8):475-85.
- Casucci A, Raffaelli L, Scarano A, Petrini M, Montemurro N, Barlattani A Jr, et al. Flexural strength analysis of different complete denture resin-based materials obtained by conventional and digital manufacturing. *Materials (Basel).* 2023;16(19):6559.

19. Bernardes SR, De Matias TSI, Thomé G. Tecnologia CAD/CAM aplicada a prótese dentária e sobre implantes. *Jornal Ilapeo*. 2012;6(1):8-13.
20. Sayed ME, Swelem AA, Al-Faroukh M, El Mekawy N. Effect of cast modification on denture base adaptation following maxillary complete denture processing. *J Prosthodont*. 2019;28(1):e6-e12.
21. Dwivedi H, Vishwakarma P, Tyagi N, Sharma A. Analysis of the microstructural and mechanical properties of 3D-printed removable partial denture base materials. *J Pharm Bioallied Sci*. 2024;16(Suppl 1):S681-S683.
22. ISO 20795-1:2013. Dentistry—Base polymers. Part 1: Denture base polymers. 2nd ed. Geneva: International Organization for Standardization; 2013.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflitos de interesse

AUTOR PARA CORRESPONDÊNCIA

Viviane Maria Gonçalves de Figueiredo

DEPPCBF - Departamento de Prótese e Cirurgia Buco-Facial – CCS
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
50670-901 Recife - PE, Brasil
E-mail:vivi_mfigueiredo@yahoo.com.br

Submetido em 06/05/2025

Aceito em 31/05/2025