

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

KÉLISSON DUARTE REIS

**COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESINAS DESTINADAS
À FABRICAÇÃO DE PLACAS OCLUSAIS PRODUZIDAS POR PRENSAGEM,
FRESAGEM, IMPRESSÃO 3D E INJEÇÃO TERMOPOLIMERIZÁVEL**

ALFENAS/MG

2026

KÉLISSON DUARTE REIS

**COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESINAS DESTINADAS
À FABRICAÇÃO DE PLACAS OCLUSAIS PRODUZIDAS POR PRENSAGEM,
FRESAGEM, IMPRESSÃO 3D E INJEÇÃO TERMOPOLIMERIZÁVEL**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Odontológicas, pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Bioengenharia de Materiais Odontológicos e Reparação Tecidual.

Orientador: Prof. Dr. Frederico dos Reis Goyatá.
Coorientadora: Profa. Dra. Lísia Aparecida Costa Gonçalves.

ALFENAS/MG

2026

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Reis, Kéllisson Duarte .

Comparação das Propriedades Mecânicas de Resinas Destinadas à
Fabricação de Placas Oclusais Produzidas por Prensagem, Fresagem,
Impressão 3D e Injeção Termopolimerizável / Kéllisson Duarte Reis. -
Alfenas, MG, 2026.

45 f. : il. -

Orientador(a): Frederico dos Reis Goyatá.

Dissertação (Mestrado em Ciências Odontológicas) - Universidade
Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2026.

Bibliografia.

1. Placas oclusais. 2. Impressão em 3D. 3. CAD-CAM. 4. Testes
mecânicos. 5. PMMA. I. Goyatá, Frederico dos Reis, orient. II. Título.

KÉLISSON DUARTE REIS

**COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESINAS DESTINADAS
À FABRICAÇÃO DE PLACAS OCLUSAIS PRODUZIDAS POR PRENSAGEM,
FRESAGEM, IMPRESSÃO 3D E INJEÇÃO TERMOPOLIMERIZÁVEL**

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da Defesa apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Odontológicas pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Bioengenharia de Materiais Odontológicos e Reparação Tecidual.

Aprovado em: 20 de fevereiro de 2026.

Prof. Dr. Frederico dos Reis Goyatá

Presidente da Banca Examinadora

Universidade Federal de Alfenas - MG

Profa. Dra. Greciana Bruzi Brasil Pinto

Universidade Federal de Alfenas - MG

Profa. Dra. Laísa Araujo Cortines Laxe

Universidade Federal de Juiz de Fora – MG

AGRADECIMENTOS

A realização desta Dissertação tornou-se possível graças ao apoio e à colaboração de diversas pessoas e instituições, às quais manifesto minha sincera gratidão.

Agradeço, primeiramente, ao meu orientador, Prof. Dr. Frederico dos Reis Goyatá, pela dedicação constante, orientação criteriosa e pelo incentivo que guiou cada etapa deste trabalho. Suas contribuições técnicas e observações precisas foram fundamentais para o desenvolvimento e aprimoramento desta pesquisa.

À minha família, especialmente aos meus pais, Lucimar e Amarildo, expresso minha profunda gratidão pelo amor incondicional, apoio contínuo e por sempre acreditarem em mim. À minha companheira Anna Luiza, agradeço pela presença constante, pelo apoio emocional e pela confiança depositada em mim. Aos meus irmãos, Esthefany e Kendnner, registro meu agradecimento pelo suporte e pelas palavras de encorajamento nos momentos mais desafiadores.

Registro também meus agradecimentos aos meus colegas de mestrado, Mauthos Sepini e Ludimila Honorato, pela parceria, colaboração e convivência ao longo desta jornada acadêmica. Suas contribuições, apoio e troca de experiências tornaram o percurso mais leve e produtivo.

Estendo meus agradecimentos à Universidade Federal de Alfenas, em especial aos docentes, discentes e colaboradores ligados às Clínicas Integradas II e III, pelo acolhimento, parceria e valiosa troca de conhecimentos ao longo de toda a trajetória.

Agradeço ainda à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pelo apoio financeiro concedido, essencial para a viabilização desta pesquisa.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para esta etapa e para o meu crescimento acadêmico e pessoal, deixo registrado meu sincero e respeitoso agradecimento.

RESUMO

As placas oclusais são amplamente empregadas no diagnóstico diferencial e no tratamento dos hábitos parafuncionais, como o bruxismo e o apertamento dentário, contribuindo para a proteção das estruturas dentárias e para a redução da sintomatologia associada à hiperatividade muscular. O método de confecção desses dispositivos pode influenciar significativamente suas propriedades mecânicas, com impacto direto na durabilidade e no desempenho clínico. O objetivo deste estudo foi comparar a microdureza Vickers, a resistência à flexão e o módulo de elasticidade de resinas acrílicas utilizadas na confecção das placas oclusais produzidas por quatro métodos distintos: prensagem Convencional, Fresagem CAD/CAM, Impressão 3D e Injeção automatizada de resina acrílica termopolimerizável (Injeção). Foram confeccionados 48 corpos de prova, distribuídos em quatro grupos experimentais ($n = 12$), de acordo com o método de fabricação e o material utilizado: resina acrílica termoativada Clássico® (Convencional), Block PMMA pré-polimerizado Primavita (Fresagem CAD/CAM), resina fotopolimerizável Smart Print Bio Bite Splint Clear® (Impressão 3D) e resina acrílica termopolimerizável IvoBase Hybrid® (Injeção). Os resultados evidenciaram desempenho mecânico superior para os grupos Fresagem CAD/CAM e Injeção em todas as propriedades avaliadas. Na resistência à flexão, Fresagem CAD/CAM ($118,70 \pm 5,81$ MPa) e Injeção ($110,62 \pm 6,10$ MPa) apresentaram valores significativamente superiores aos grupos Convencional ($91,72 \pm 7,53$ MPa) e Impressão 3D ($68,91 \pm 1,92$ MPa) ($p < 0,05$), sem diferença estatisticamente significativa entre si ($p > 0,05$). Tendência semelhante foi observada para o módulo de elasticidade, Fresagem CAD/CAM ($3,08 \pm 0,04$ GPa), Injeção ($3,04 \pm 0,06$ GPa), Convencional ($2,86 \pm 0,07$ GPa) e Impressão 3D ($1,76 \pm 0,06$ GPa) e para microdureza Vickers, com Fresagem CAD/CAM ($44,78 \pm 1,20$ HV) e Injeção ($43,64 \pm 1,19$ HV) apresentando valores estatisticamente superiores aos métodos Convencional ($34,32 \pm 2,62$ HV) e Impressão 3D ($22,03 \pm 0,51$ HV). Conclui-se que o método de fabricação exerce influência significativa sobre as propriedades mecânicas das resinas acrílicas. Técnicas de Fresagem CAD/CAM e Injeção destacam-se como opções mais indicadas para situações clínicas que exigem elevada resistência mecânica, oferecendo desempenho semelhante, enquanto os métodos Convencional e Impressão 3D apresentam limitações potenciais frente a cargas oclusais intensas.

Palavras-chave: placas oclusais; impressão em 3D; CAD-CAM; testes mecânicos; PMMA.

ABSTRACT

Occlusal splints are widely used in the differential diagnosis and treatment of parafunctional habits, such as bruxism and teeth clenching, contributing to the protection of dental structures and the reduction of symptoms associated with muscle hyperactivity. The manufacturing method of these devices can significantly influence their mechanical properties, directly impacting durability and clinical performance. The aim of this study was to compare the Vickers microhardness, flexural strength, and modulus of elasticity of acrylic resins used in the manufacture of occlusal splints produced by four different methods: Conventional pressing, CAD/CAM milling, 3D printing, and automated injection of heat-polymerizable acrylic resin (Injection). Forty-eight specimens were manufactured and distributed into four experimental groups (n = 12), according to the manufacturing method and material used: Classic® thermoset acrylic resin (Conventional), Primavita pre-polymerized PMMA block (CAD/CAM milling), Smart Print Bio Bite Splint Clear® light-cured resin (3D printing), and IvoBase Hybrid® thermoset acrylic resin (Injection molding). The results showed superior mechanical performance for the CAD/CAM milling and injection molding groups in all properties evaluated. In terms of flexural strength, CAD/CAM Milling (118.70 ± 5.81 MPa) and Injection Molding (110.62 ± 6.10 MPa) showed significantly higher values than the Conventional (91.72 ± 7.53 MPa) and 3D Printing (68.91 ± 1.92 MPa) groups ($p < 0.05$), with no statistically significant difference between them ($p > 0.05$). A similar trend was observed for the modulus of elasticity, with CAD/CAM Milling (3.08 ± 0.04 GPa), Injection Molding (3.04 ± 0.06 GPa), Conventional Molding (2.86 ± 0.07 GPa), and 3D Printing (1.76 ± 0.06 GPa), and for Vickers microhardness, with CAD/CAM Milling (44.78 ± 1.20 HV) and Injection Molding (43.64 ± 1.19 HV) showing statistically higher values than the Conventional Molding (34.32 ± 2.62 HV) and 3D Printing (22.03 ± 0.51 HV) methods. It is concluded that the manufacturing method exerts a significant influence on the mechanical properties of acrylic resins. CAD/CAM milling and injection techniques stand out as the most suitable options for clinical situations requiring high mechanical strength, offering similar performance, while conventional and 3D printing methods present potential limitations when faced with intense occlusal loads.

Keywords: occlusal splints; 3D printing; CAD/CAM; mechanical tests; PMMA.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Materiais utilizados no estudo.....	22
Quadro 2 - Valor estimado dos materiais utilizados no estudo.....	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma ilustrativo da confecção dos corpos de prova pelo método convencional.....	25
Figura 2 - Fluxograma ilustrativo da confecção dos corpos de prova pelo método de Fresagem CAD/CAM.....	26
Figura 3 - Fluxograma ilustrativo da confecção dos corpos de prova pelo grupo Impressão 3D.....	27
Figura 4 - Fluxograma ilustrativo da confecção dos corpos de prova pelo grupo de Injeção.....	28
Figura 5 - Corpo de prova após acabamento, polimento e marcações para identificação.....	29
Figura 6 - Mensuração dos corpos de prova.....	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação da Resistência à Flexão (\pm DP) entre Diferentes Métodos de Confeção de Placas Oclusais	33
Gráfico 2 - Comparação Do Módulo de Elasticidade (\pm DP) entre Diferentes Métodos de Confeção de Placas Oclusais	34
Gráfico 3 - Comparação da Microdureza Vickers (\pm DP) entre Diferentes Métodos de Confeção de Placas Oclusais	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios e desvios-padrão da resistência à flexão das resinas acrílicas, de acordo com o método de fabricação	33
Tabela 2 - Valores Médios e desvio-padrão do módulo de elasticidade das resinas acrílicas segundo o método de fabricação.	34
Tabela 3 - Valores Médios e desvio-padrão de microdureza Vickers das resinas acrílicas segundo o método de fabricação.	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	HIPÓTESES	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS E TÉCNICAS DE FABRICAÇÃO DE PLACAS OCLUSAIS.....	17
3.2	FRESAGEM CAD/CAM E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO PMMA	18
3.3	TÉCNICA DE INJEÇÃO AUTOMATIZADA DE RESINA ACRÍLICA TERMOPOLIMERIZÁVEL	19
3.4	IMPRESSÃO 3D APLICADA À CONFECÇÃO DE PLACAS OCLUSAIS	19
3.5	IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	20
3.6	LACUNA CIENTÍFICA E JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	21
4	METODOLOGIA	22
4.1	MATERIAIS	22
4.2	MÉTODOS.....	24
4.2.1	Confecção dos corpos de prova	24
4.2.2	Prensagem Convencional (grupo controle)	24
4.2.3	Fresagem CAD/CAM	25
4.2.4	Impressão 3D.....	26
4.2.5	Injeção automatizada de resina acrílica termopolimerizável.....	27
4.2.6	Acabamento e polimento.....	29
4.3	TESTES MECÂNICOS	29
4.3.1	Resistência à flexão.....	30
4.3.2	Módulo de elasticidade.....	31
4.3.3	Microdureza Vickers.....	31
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
5	RESULTADOS	33
6	DISCUSSÃO	36
7	CONCLUSÕES	41
	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

As placas oclusais são amplamente reconhecidas como um recurso terapêutico respaldado por evidências científicas para o manejo dos sintomas associados às disfunções temporomandibulares (DTMs), incluindo manifestações relacionadas ao bruxismo e ao apertamento dentário. Essa modalidade terapêutica tem sido amplamente estudada e empregada na prática clínica com o objetivo de reduzir dores orofaciais e cefaleias, além de minimizar sinais clínicos como desgastes dentários e fraturas coronárias (Sousa *et al.*, 2020; Orzeszek *et al.*, 2023).

A compreensão das diferentes metodologias de confecção das placas oclusais é fundamental para a seleção da técnica mais adequada às necessidades clínicas individuais. Estudos recentes demonstram que métodos digitais, como a Fresagem CAD/CAM e a Impressão 3D, podem oferecer maior precisão, eficiência e reprodutibilidade quando comparados às técnicas tradicionais (Berli *et al.*, 2020; Prpic *et al.*, 2023; Rosello Jimenez *et al.*, 2023; Maleki *et al.*, 2024). Além disso, a escolha entre abordagens convencionais e digitais pode impactar diretamente o tempo clínico e laboratorial, bem como influenciar a previsibilidade do tratamento. Dessa forma, o conhecimento aprofundado dessas metodologias permite ao cirurgião-dentista otimizar os resultados terapêuticos e aprimorar a experiência do paciente quanto ao uso do dispositivo.

Nos métodos digitais, o desenho da placa oclusal é realizado em software específico a partir do escaneamento intraoral das arcadas, gerando um arquivo no formato STL que é posteriormente encaminhado para processamento por fresagem ou impressão tridimensional. Na técnica de fresagem CAD/CAM, o dispositivo é usinado a partir de blocos industrializados de polimetilmetacrilato (PMMA), os quais apresentam elevado grau de homogeneidade estrutural, baixo índice de porosidade e propriedades mecânicas favoráveis (Jeong *et al.*, 2018; Zafar, 2020).

Tradicionalmente, a confecção de placas oclusais pelo método Convencional envolve múltiplas etapas laboratoriais, incluindo moldagem com hidrocolóide irreversível, obtenção de modelos em gesso, registro interoclusal, montagem em articulador semi-ajustável, enceramento, inclusão em mufla, prensagem da resina acrílica termopolimerizável, demuflagem, acabamento e polimento. Trata-se de uma técnica consolidada e amplamente empregada, considerada referência histórica na confecção desses dispositivos. Contudo, por

demandar diversas etapas operacionais e depender de serviços laboratoriais, apresenta maior suscetibilidade à variabilidade técnica e maior tempo de execução (Rosello Jimenez *et al.*, 2023). Nesse contexto, o método Convencional foi adotado como referência comparativa no presente estudo, por representar o padrão tradicional utilizado na prática clínica.

Em contrapartida, metodologias digitais, como o sistema de Fresagem CAD/CAM e Impressão 3D, permitem a confecção de placas oclusais com elevada precisão e menor variabilidade, reduzindo o tempo clínico e laboratorial. A Impressão 3D também surge como alternativa promissora, apesar dos desafios relacionados às propriedades mecânicas dos materiais empregados (Wang *et al.*, 2020; De Paula Lopez *et al.*, 2024; Rosello Jimenez *et al.*, 2023; Albagieh *et al.*, 2023).

A técnica de injeção automatizada de resina acrílica termopolimerizável tem se consolidado como alternativa ao método convencional por compressão, permitindo adequada adaptação interna, precisão dimensional e desempenho clínico satisfatório. Evidências experimentais indicam que dispositivos confeccionados por injeção podem apresentar acurácia dimensional, número de contatos oclusais e retenção comparáveis aos obtidos por fresagem CAD/CAM (Wesemann *et al.*, 2021; Maleki *et al.*, 2024). Entretanto, apesar desses resultados favoráveis, ainda são escassos os estudos que avaliam sistematicamente as propriedades mecânicas das resinas injetadas quando aplicadas especificamente à confecção de placas oclusais.

Grande parte das evidências disponíveis concentra-se na utilização da técnica de injeção para bases de próteses totais e parciais removíveis, comparando-a a métodos convencionais ou digitais quanto à adaptação e desempenho clínico (Wesemann *et al.*, 2021; Maleki *et al.*, 2024). Embora esses achados sugiram desempenho satisfatório da técnica, sua extrapolação para dispositivos oclusais apresenta limitações, considerando as diferenças nas demandas biomecânicas envolvidas. Placas destinadas ao manejo do bruxismo são submetidas a cargas oclusais elevadas e esforços cíclicos repetitivos, o que evidencia a necessidade de investigações específicas que avaliem o comportamento mecânico das resinas injetadas nesse contexto clínico (Wesemann *et al.*, 2021; Abad-Coronel *et al.*, 2023; Maleki *et al.*, 2024; Ainoosah *et al.*, 2024).

A comparação das propriedades mecânicas obtidas por diferentes métodos de fabricação é, portanto, fundamental para assegurar a eficácia terapêutica e a longevidade clínica das placas oclusais. Características como microdureza, resistência à flexão e módulo de elasticidade são determinantes para o desempenho estrutural do dispositivo, especialmente em pacientes submetidos a elevadas cargas parafuncionais (Wesemann *et al.*, 2021; De Paula Lopez *et al.*, 2024; Abad-Coronel *et al.*, 2023; Rosello Jimenez *et al.*, 2023; Ainoosah *et al.*, 2024).

Diante disso, o presente estudo *in vitro* tem como objetivo avaliar a influência de diferentes métodos de fabricação nas propriedades mecânicas das resinas acrílicas utilizadas na confecção de placas oclusais. Para tal, serão analisadas a microdureza Vickers, a resistência à flexão e o módulo de elasticidade de corpos de prova obtidos pelos quatro métodos de processamento: Convencional, Fresagem CAD/CAM, Impressão 3D e Injeção termopolimerizável. A comparação entre as técnicas visa fornecer subsídios científicos que auxiliem na seleção do método de confecção mais adequado, considerando o desempenho mecânico dos materiais.

2 OBJETIVOS

Avaliar comparativamente as propriedades mecânicas de resinas acrílicas empregadas na confecção de placas oclusais, produzidas pelos métodos de prensagem convencional, fresagem CAD/CAM, impressão 3D e injeção automatizada termopolimerizável, por meio dos ensaios de microdureza Vickers, resistência à flexão e módulo de elasticidade.

2.1 HIPÓTESES

H₀: Não haverá diferença estatisticamente significativa entre os métodos de confecção das placas oclusais (técnica convencional, fresagem CAD/CAM, impressão 3D e injeção) quanto às propriedades mecânicas avaliadas (microdureza Vickers, resistência à flexão e módulo de elasticidade).

H₁: Haverá diferença estatisticamente significativa entre os métodos de confecção das placas oclusais (técnica convencional, fresagem CAD/CAM, impressão 3D e injeção) quanto às propriedades mecânicas avaliadas (microdureza Vickers, resistência à flexão e módulo de elasticidade).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

As placas oclusais constituem dispositivos intraorais removíveis amplamente empregados no manejo do bruxismo do sono e em vigília, bem como nas disfunções temporomandibulares (DTMs), sendo consideradas uma das abordagens terapêuticas conservadoras mais utilizadas na prática clínica. Seu mecanismo de ação envolve a redistribuição das forças oclusais, a modificação dos contatos dentários e a redução da hiperatividade muscular, principalmente durante episódios de apertamento dental e bruxismo do sono (Schwitalla; Müller, 2013; Nassif *et al.*, 2023; Souza *et al.*, 2023). Evidências recentes demonstram que o uso de placas oclusais pode promover diminuição da atividade eletromiográfica dos músculos mastigatórios, redução da dor miofascial e melhora da qualidade do sono em pacientes bruxômanos (Manfredini *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2023; Mathar *et al.*, 2024; Ferreira *et al.*, 2024).

Além de atuarem como barreira física contra o desgaste dentário progressivo, as placas oclusais contribuem para a estabilização da oclusão, favorecem a reorganização neuromuscular e auxiliam na proteção das estruturas articulares da articulação temporomandibular (ATM). Estudos clínicos recentes reforçam que sua eficácia está relacionada não apenas ao desenho da placa, mas também às propriedades mecânicas do material empregado, especialmente em pacientes com forças oclusais elevadas (Mathar *et al.*, 2024; Valenti *et al.*, 2024; Simeon *et al.*, 2024).

Do ponto de vista biomecânico, as placas oclusais estão submetidas a elevados níveis de estresse mecânico, incluindo cargas compressivas, forças de flexão e esforços cíclicos repetitivos. Durante o bruxismo, as forças aplicadas podem exceder significativamente aquelas observadas durante a mastigação fisiológica, tornando imprescindível que os materiais utilizados apresentem resistência à flexão adequada, módulo de elasticidade compatível e elevada dureza de superfície, garantindo estabilidade dimensional, resistência ao desgaste e longevidade clínica (Grymak *et al.*, 2021; Benli *et al.*, 2023).

3.1 EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS E TÉCNICAS DE FABRICAÇÃO DE PLACAS OCLUSAIS

Historicamente, as placas oclusais eram confeccionadas por meio do método Convencional de prensagem de resina acrílica termopolimerizável. Apesar de amplamente difundida devido ao baixo custo e à facilidade de execução, essa técnica apresenta limitações inerentes ao processo manual, como contração de polimerização, formação de porosidades,

incorporação de bolhas e maior variabilidade nas propriedades mecânicas (Wang *et al.*, 2020; Gibreel *et al.*, 2021). Essas limitações podem comprometer a adaptação marginal, a estabilidade oclusal e o desempenho clínico das placas a médio e longo prazo (Zafar *et al.*, 2020; Perea-Lowery *et al.*, 2021; Gibreel *et al.*, 2021; Gibreel *et al.*, 2022).

Com o avanço das tecnologias digitais na Odontologia, novos métodos de fabricação passaram a ser empregados com o objetivo de aumentar a precisão, a padronização e a previsibilidade dos dispositivos intraorais. Nesse contexto, os sistemas de Fresagem CAD/CAM, a Impressão 3D e a técnica de injeção termopolimerizável emergiram como alternativas ao método Convencional, sendo amplamente investigados quanto à adaptação, propriedades mecânicas e comportamento clínico (Gibreel *et al.*, 2021; Gibreel *et al.*, 2022). Essas tecnologias possibilitam maior controle do processo de fabricação, redução da dependência do operador e potencial melhoria na qualidade final das placas oclusais (Weźgowiec *et al.*, 2025).

3.2 FRESAGEM CAD/CAM E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO PMMA

No sistema de Fresagem CAD/CAM, as placas oclusais são confeccionadas a partir da fresagem de blocos de PMMA industrialmente pré-polimerizados, produzidos sob condições controladas de pressão e temperatura. Esses blocos apresentam elevado grau de conversão, baixa porosidade interna e reduzido teor de monômero residual, características diretamente associadas à melhora das propriedades mecânicas do material (Nassif *et al.*, 2023; De Gois Moreira *et al.*, 2024; Santis *et al.*, 2025).

Estudos recentes demonstram que placas oclusais confeccionadas pelo método de Fresagem CAD/CAM apresentam maior resistência à flexão, maior módulo de elasticidade e valores superiores de microdureza Vickers quando comparadas às placas confeccionadas pelos métodos Convencional e Impressão 3D (Tian *et al.*, 2021; Valenti *et al.*, 2024; Santis *et al.*, 2025). Esse desempenho superior é atribuído à homogeneidade estrutural do material e à padronização industrial do processo de polimerização, resultando em comportamento mecânico mais previsível e menor variabilidade dos resultados (Moslehifard *et al.*, 2022; Valenti *et al.*, 2024; Mayta *et al.*, 2025).

Além das propriedades mecânicas aprimoradas, a tecnologia de Fresagem CAD/CAM proporciona melhor acabamento de superfície, menor necessidade de ajustes clínicos e redução do tempo de confecção laboratorial. Esses fatores contribuem para maior aceitação clínica e conforto do paciente, especialmente em casos de bruxismo severo, nos quais as exigências

mecânicas impostas às placas oclusais são elevadas (Abad-Coronel *et al.*, 2023; Emam *et al.*, 2024; Santis *et al.*, 2025).

3.3 TÉCNICA DE INJEÇÃO AUTOMATIZADA DE RESINA ACRÍLICA TERMOPOLIMERIZÁVEL

A técnica de injeção de resina acrílica termopolimerizável baseia-se na inserção do material sob pressão contínua em moldes fechados, permitindo melhor preenchimento das cavidades e compensação da contração de polimerização. Quando realizada por sistemas automatizados, essa técnica proporciona maior controle do processo, redução da formação de bolhas e maior reprodutibilidade dos resultados (Berli *et al.*, 2020; Moslehifard *et al.*, 2022; Mayta *et al.*, 2025).

As resinas acrílicas injetadas têm demonstrado boa biocompatibilidade, estabilidade dimensional e resistência ao desgaste, propriedades relevantes para dispositivos submetidos a cargas oclusais repetitivas (Emam *et al.*, 2024). Estudos recentes indicam que placas confeccionadas por injeção apresentam melhor adaptação marginal e menor absorção de água quando comparadas ao método Convencional, fatores diretamente relacionados à maior longevidade clínica (Rosello Jimenez *et al.*, 2023; Emam *et al.*, 2024; Mayta *et al.*, 2025).

Entretanto, grande parte da literatura disponível ainda se concentra na aplicação dessa técnica em bases de próteses totais, nas quais as exigências mecânicas são inferiores às impostas às placas oclusais. Dessa forma, a extrapolação desses resultados deve ser realizada com cautela, reforçando a necessidade de estudos específicos voltados às placas utilizadas no manejo do bruxismo.

3.4 IMPRESSÃO 3D APLICADA À CONFECÇÃO DE PLACAS OCLUSAIS

A Impressão 3D tem se consolidado como uma tecnologia promissora na Odontologia digital, permitindo a confecção de placas oclusais personalizadas a partir de modelos obtidos por escaneamento intraoral. O método baseia-se na deposição sucessiva de camadas de resinas fotopolimerizáveis, possibilitando elevada precisão dimensional, redução do desperdício de material e otimização do fluxo de trabalho clínico e laboratorial (Moslehifard *et al.*, 2022; De Paula Lopez *et al.*, 2024).

Apesar das vantagens, estudos recentes apontam que as propriedades mecânicas das placas impressas em 3D ainda apresentam grande variabilidade, dependendo da composição da resina, da orientação de impressão, da espessura das camadas, do protocolo de pós-

polimerização e do tipo de equipamento utilizado (Emam *et al.*, 2024; Santis *et al.*, 2025). Em geral, valores inferiores de resistência à flexão, módulo de elasticidade e microdureza têm sido relatados quando comparados aos métodos de Fresagem CAD/CAM e injeção, o que pode limitar sua indicação clínica em pacientes com elevada carga oclusal.

Essa variabilidade reforça a necessidade de avaliações laboratoriais rigorosas e padronizadas, visando determinar se os materiais impressos em 3D são capazes de suportar as exigências mecânicas impostas pelo bruxismo e pelo apertamento dental, especialmente em longo prazo.

3.5 IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

A avaliação das propriedades mecânicas, como resistência à flexão, módulo de elasticidade e microdureza Vickers, é fundamental para a compreensão do comportamento clínico dos materiais utilizados na confecção de placas oclusais. A microdureza está diretamente relacionada à resistência ao desgaste de superfície e à manutenção da integridade da superfície oclusal ao longo do tempo, enquanto a resistência à flexão e o módulo de elasticidade refletem a capacidade do material de resistir à deformação elástica e à fratura sob cargas cíclicas repetitivas, frequentemente observadas em pacientes com bruxismo e apertamento dental (Wang *et al.*, 2020; Tian *et al.*, 2021; Rosello Jimenez *et al.*, 2023).

Adicionalmente, propriedades mecânicas inadequadas podem resultar em falhas clínicas precoces, como fraturas, deformações permanentes e desgaste excessivo da superfície oclusal, comprometendo a eficácia terapêutica das placas. Materiais com baixa resistência à flexão podem sofrer fraturas sob cargas elevadas, enquanto valores reduzidos de módulo de elasticidade podem favorecer a deformação do dispositivo, levando à perda de estabilidade oclusal e necessidade de ajustes frequentes ou substituição da placa (Rosello Jimenez *et al.*, 2023).

Materiais com maior homogeneidade estrutural, como aqueles utilizados nos sistemas de Fresagem CAD/CAM e na técnica de injeção termopolimerizável, tendem a apresentar desempenho mecânico superior, maior previsibilidade e menor dispersão dos resultados. A padronização industrial do processo de fabricação contribui para a redução de defeitos internos, como porosidades e bolhas, que atuam como concentradores de tensão e podem comprometer a resistência mecânica do material. Em contrapartida, técnicas mais dependentes do operador, como o método Convencional, estão mais sujeitas a variações relacionadas ao protocolo de

manipulação e polimerização, resultando em maior variabilidade dos valores obtidos e menor confiabilidade clínica (Abad-Coronel *et al.*, 2023; Mathar *et al.*, 2024).

Além disso, a análise das propriedades mecânicas em estudos laboratoriais fornece subsídios essenciais para a seleção racional dos materiais e métodos de fabricação das placas oclusais, auxiliando o cirurgião-dentista na tomada de decisão clínica. A correlação entre os resultados mecânicos e o desempenho clínico esperado permite indicar materiais mais adequados de acordo com o perfil funcional do paciente, especialmente em casos de elevada demanda oclusal, contribuindo para maior longevidade do dispositivo e sucesso terapêutico a longo prazo.

3.6 LACUNA CIENTÍFICA E JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

Apesar do avanço das tecnologias digitais e do surgimento de novos materiais, ainda são escassos os estudos que comparam, de forma direta e sistemática, as propriedades mecânicas de resinas acrílicas utilizadas especificamente na confecção de placas oclusais por diferentes métodos de fabricação, sobretudo no que se refere à injeção automatizada de resina termopolimerizável.

A ausência de evidências robustas direcionadas ao manejo do bruxismo e do apertamento dental evidencia uma lacuna científica relevante. Dessa forma, estudos laboratoriais comparativos, como o presente trabalho, são fundamentais para fornecer subsídios científicos que auxiliem o cirurgião-dentista na escolha do método de fabricação mais adequado, considerando desempenho mecânico, previsibilidade e potencial longevidade clínica.

4 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como experimental e laboratorial, no qual foram avaliados quatro métodos distintos de fabricação de placas oclusais: Convencional, Fresagem CAD/CAM, Impressão 3D e Injeção termopolimerizável. O grupo confeccionado pelo método Convencional foi adotado como grupo controle, por representar a técnica tradicionalmente empregada na confecção de placas oclusais e amplamente utilizada na prática clínica. A análise foi conduzida por meio de ensaios mecânicos de microdureza Vickers, resistência à flexão e módulo de elasticidade.

O ensaio de microdureza Vickers foi realizado conforme a norma ISO 6507-1:2023, com aplicação de carga padronizada perpendicularmente à superfície dos corpos de prova. Os ensaios de resistência à flexão e módulo de elasticidade foram realizados pelo método de flexão em três pontos, seguindo os critérios estabelecidos pelas normas ISO 20795-1:2013 e ISO 178:2019, respectivamente.

4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados neste estudo, bem como seus respectivos fabricantes e composições, estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Materiais utilizados no estudo.

Método	Modelo	Fabricante	Composição
Impressão 3D	Resina 3D Smart Print Bio Bite Splint Clear	Smart Dent, São Paulo, Brasil.	Matriz monomérica composta por metacrilatos biocompatíveis, incluindo ureia dimetacrilato (UDMA), triuretano dimetacrilato (TUDMA) e monômeros diluentes, fotoiniciadores sensíveis à luz de LED, estabilizantes e agentes para controle da viscosidade e transparência.
Convencional (Grupo controle)	Clássico Termo Ativado	Clássico, São Paulo, Brasil.	Sistema pó-líquido composto por pó de PMMA com peróxido de

			benzoíla e pigmentos biocompatíveis, e líquido à base de metilmetacrilato (MMA), inibidor, agente reticulante (EGDMA) e aditivo fluorescente.
Fresagem CAD/CAM	Block Primavita Clear	Primavita, São Paulo, Brasil.	Disco pré-polimerizado composto por PMMA.
Injeção termopolimerizável	IvoBase Hybrid	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein.	Matriz de PMMA modificado com copolímeros metacrílicos, monômeros líquidos contendo metilmetacrilato (MMA) e agentes reticulantes (EGDMA), iniciadores térmicos (peróxido de benzoíla), inibidores de polimerização, além de pigmentos biocompatíveis e aditivos fluorescentes.

Fonte: Autores (2026).

Os valores estimados dos materiais e insumos utilizados durante a execução do estudo estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Valor estimado dos materiais utilizados no estudo.

Material / Serviço	Valor
Lixa de carbetto de silício granulação 600, 800, 1000 e 1200 – 3M.	R\$ 180,99
Disco pré-polimerizado de PMMA - Primavita	R\$ 225,00
Silicone de condensação para Laboratório – Zetalabor	R\$ 146,99
Resina Acrílica Termopolimerizável em Pó, 220g - Clássico	R\$ 79,90
Resina Acrílica Termo Líquida, 250ml - Clássico	R\$ 66,49
Disco de Carburundum Marrom 38x0,6mm - American Burrs	R\$ 9,09
Alcool 70% 01 litro Desinfetante - PROLINK	R\$ 7,99
Resina 3D Smart Print Bio Bite Splint Clear, 250g – Smart Dent	R\$ 598,88
Cera 7 Rosa, 18 Lâminas - Lysanda	R\$22,99
Gesso Pedra Herodent Tipo III - Vigodent	R\$ 14,99
Caneta Marcador Retroprojeter Permanente 1.0 Fino Preto Pilot	R\$ 14,80
IvoBase Hybrid clear (cápsula) – Ivoclar vivadent	R\$ 65,00

Fonte: Autores (2026).

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Confeção dos corpos de prova

O cálculo do tamanho amostral foi realizado com base nos resultados obtidos em um estudo piloto, utilizando o software G*Power (versão 3.1.9.7; Universität Düsseldorf, Alemanha), considerando nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e poder estatístico de 80% ($1-\beta = 0,80$).

Foram confeccionados 48 corpos de prova, distribuídos em quatro grupos experimentais ($n = 12$), correspondentes aos métodos Convencional, Fresagem CAD/CAM, Impressão 3D e Injeção termopolimerizável. Todos os corpos de prova apresentaram dimensões padronizadas de 65,0 x 10,0 x 3,3 mm ($\pm 0,2$ mm), conforme a norma ISO 20795-1:2013, em consonância com estudos prévios (Berli *et al.*, 2020; Prpic *et al.*, 2023; Rosello Jimenez *et al.*, 2023; Maleki *et al.*, 2024).

A confecção foi realizada em laboratórios de prótese dentária especializados. Os grupos Convencional, Fresagem CAD/CAM e Impressão 3D foram confeccionados no Laboratório Art Alfenas Ltda. (Alfenas, MG, Brasil), enquanto o grupo Injeção, foi confeccionado no Laboratório Bruno Miranda dos Santos (Serrania, MG, Brasil). Em cada laboratório, todo o processo foi executado por um único operador experiente, sob supervisão do pesquisador responsável, visando à padronização dos procedimentos.

4.2.2 Prensagem Convencional (grupo controle)

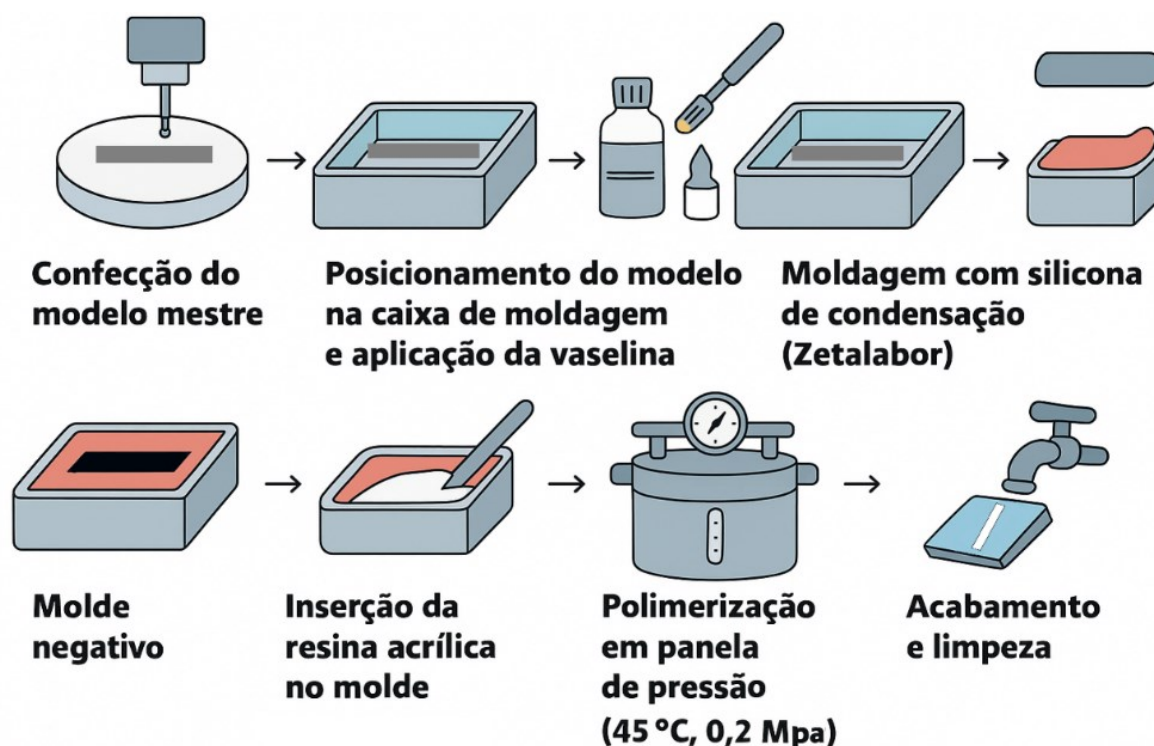
Foi confeccionado um modelo mestre com as dimensões estabelecidas (65,0 x 10,0 x 3,3 mm), a partir de um disco pré-polimerizado de PMMA (Block Primavita, Primavita, São Paulo, Brasil), utilizando a fresadora Ceramill Matron (Amann Girrbach AG, Koblach, Áustria).

O modelo mestre serviu como referência para a confecção dos moldes negativos em silicona. O modelo mestre foi posicionado em uma caixa de moldagem com dimensões adequadas, de modo a permitir sua completa inclusão no material de moldagem. Previamente ao vazamento, foi aplicada uma fina camada de vaselina líquida (Farmax®, Divinópolis, Brasil) sobre a superfície do modelo, com a finalidade de facilitar sua posterior remoção. Em seguida, a silicona de condensação para uso laboratorial (Zetalabor, Zhermack SpA, Badia Polesine, Itália) foi manipulada conforme as recomendações do fabricante e vertida na caixa de

moldagem, recobrimo integralmente o modelo mestre. Após a presa do material, o modelo foi removido, obtendo-se o molde negativo.

Na sequência, a resina acrílica termoativada (Clássico, São Paulo, Brasil) foi proporcionada e manipulada de acordo com as instruções do fabricante e inserida nos moldes, respeitando as dimensões finais estabelecidas (65,0 x 10,0 x 3,3 mm ± 0,2 mm). Os moldes preenchidos foram submetidos à polimerização em panela de pressão (Tramontina®, Brasil) contendo água aquecida a 45 °C, sob pressão de 0,2 MPa, durante 15 minutos. Após a polimerização, os corpos de prova foram removidos dos moldes e submetidos ao acabamento de superfície por meio de lixamento com lixa d'água de granulação #600 (3M™, St. Paul, EUA), até atingirem as dimensões finais especificadas. Por fim, os corpos de prova foram lavados em água corrente e limpos com álcool 70%, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma ilustrativo da confecção dos corpos de prova pelo método Convencional.



Fonte: Autores (2026).

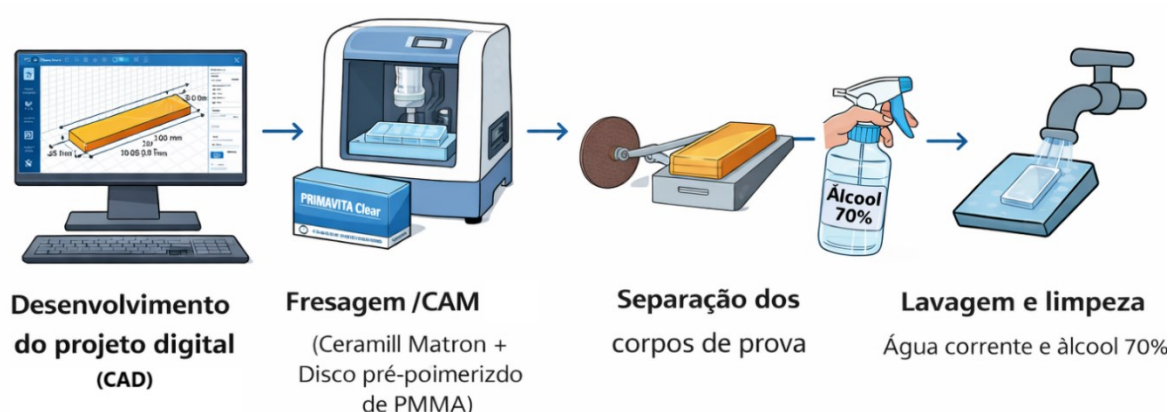
4.2.3 Fresagem CAD/CAM

Para este grupo, foi utilizado um disco pré-polimerizado de PMMA (Block Primavita, Primavita, São Paulo, Brasil). A confecção dos corpos de prova teve início com o desenvolvimento do projeto digital em software de desenho assistido por computador, Exocad®

DentalCAD (Exocad GmbH, Darmstadt, Alemanha), no qual foram definidas as dimensões finais de 65,0 x 10,0 x 3,3 mm ($\pm 0,2$ mm).

O arquivo digital gerado foi exportado para a fresadora Ceramill Matron (Amann Girrbach AG, Koblach, Áustria), que realizou a fresagem do disco de PMMA de acordo com as medidas pré-determinadas. Após isto, foi utilizado um disco de carborundum marrom de 38 x 0,6 mm (American Burs, São Paulo, Brasil), em baixa rotação, para separar os corpos de prova do disco usinado (Figura 2).

Figura 2 - Fluxograma ilustrativo da confecção dos corpos de prova pelo método de Fresagem CAD/CAM.



Fonte: Autores (2026).

Após a fresagem, os corpos de prova foram higienizados com água corrente e álcool 70% para a remoção de resíduos particulados ou fragmentos gerados durante o processo de usinagem.

4.2.4 Impressão 3D

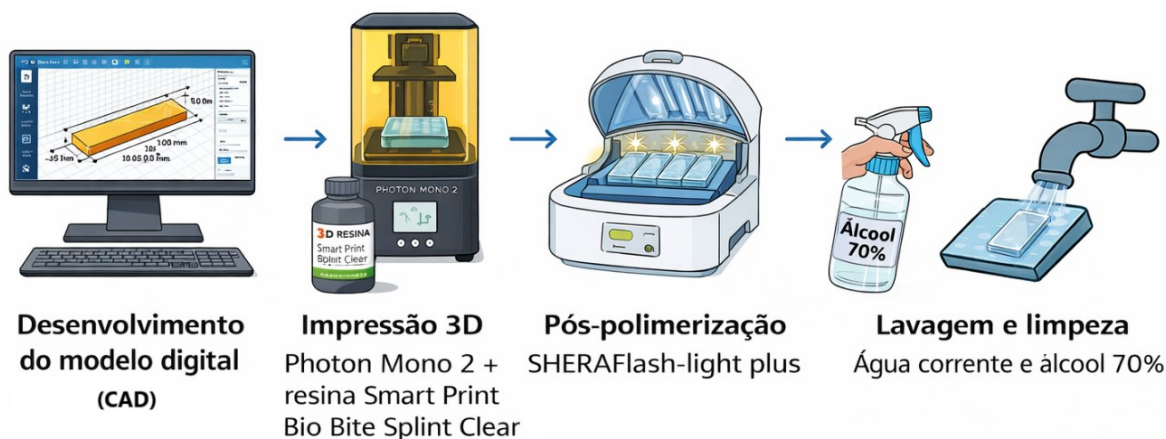
Para a confecção dos corpos de prova deste grupo, foi elaborado um modelo digital no programa que representa o CAD (Chitubox Slicer, versão 1.9.4, Shenzhen CBD-Tech Co., Ltd., Shenzhen, China), com dimensões de 65,0 x 10,0 x 3,3 mm ($\pm 0,2$ mm).

O arquivo digital foi exportado e enviado para a impressora 3D Photon Mono 2 (Anycubic, Shenzhen, China). A resina utilizada foi a Smart Print Bio Bite Splint Clear (Smart Dent, São Paulo, Brasil), e os parâmetros de impressão foram configurados de acordo com as recomendações do fabricante da resina, sendo adotada uma espessura de camada de 50 μ m.

Após a impressão, os corpos de prova foram limpos com álcool isopropílico 99,8% e submetidos à pós-polimerização no aparelho SHERAFlash-light plus (SHERA

Werkstoff-Technologie GmbH & Co, Lemförde, Alemanha), conforme recomendado pelo fabricante: múltiplos flashes por superfície (até 6000 flashes) em atmosfera controlada, a fim de promover a cura completa do material e otimizar suas propriedades mecânicas, posteriormente, foram limpos com água corrente e álcool 70%. A figura 3 exemplifica o passo a passo para confecção dos corpos de prova pelo método impresso.

Figura 3 - Fluxograma ilustrativo da confecção dos corpos de prova pelo grupo Impressão 3D.



Fonte: Autores (2026).

4.2.5 Injeção automatizada de resina acrílica termopolimerizável

Para este grupo, os corpos de prova foram confeccionados seguindo as recomendações do fabricante e os critérios estabelecidos pela norma ISO 20795-1:2013. Utilizou-se a resina acrílica termopolimerizável IvoBase Hybrid (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein), desenvolvida especificamente para o sistema de injeção controlada.

Inicialmente, foram confeccionados modelos em cera nº 7 (Lysanda Produtos Odontológicos Ltda., São José dos Campos, Brasil), com dimensões padronizadas de 65,0 x 10,0 x 3,3 mm ($\pm 0,2$ mm), conforme especificado pela norma citada. Os modelos de cera foram posicionados centralmente nas muflas metálicas do sistema IvoBase, previamente preparadas com uma fina camada de vaselina nas superfícies internas, a fim de facilitar a desinclusão posterior.

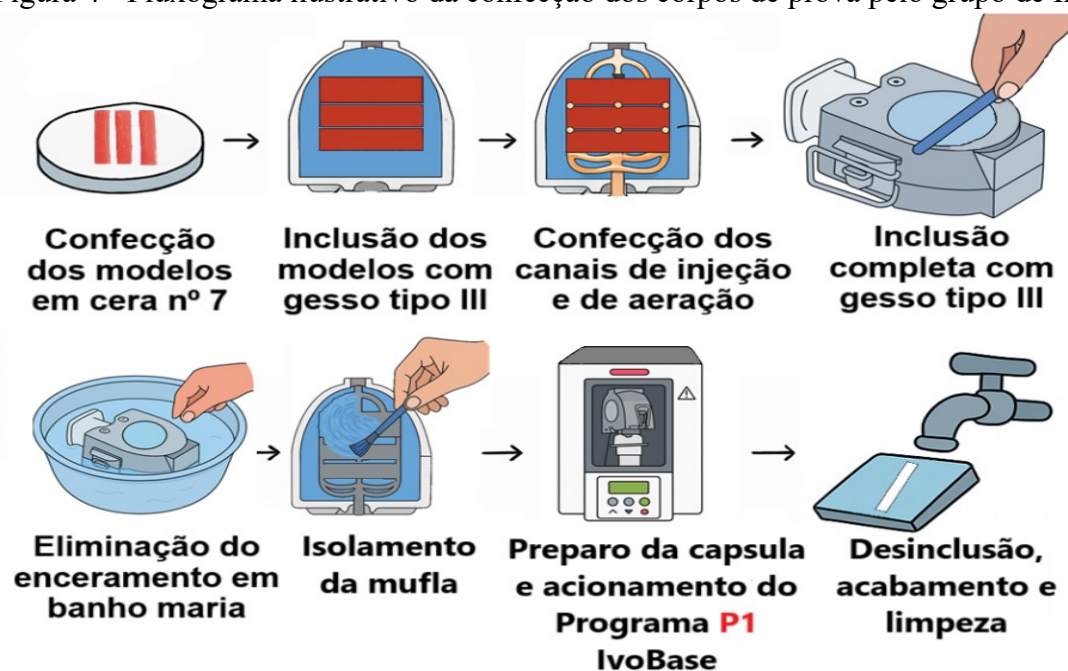
Em seguida, os canais de injeção e de aeração, também confeccionados em cera, foram conectados aos modelos, respeitando a geometria e o posicionamento recomendados pelo fabricante. A inclusão foi realizada com gesso tipo III (Herodent®, Vigodent, Rio de Janeiro, Brasil), garantindo a completa estabilização dos modelos e a correta acomodação dos

componentes do sistema de injeção. Após a presa do gesso, procedeu-se à eliminação do enceramento em banho-maria e à remoção mecânica completa dos resíduos de cera.

As superfícies internas da mufla foram então isoladas com o líquido separador IvoBase Separator (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein), aplicado em duas camadas, com intervalo de secagem entre elas. A cápsula de resina foi preparada por meio da mistura adequada dos componentes (pó e líquido) da resina IvoBase Hybrid, durante aproximadamente 30 segundos, até a obtenção de uma massa homogênea. A injeção foi realizada por meio do sistema automatizado IvoBase Injector (Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein), sob pressão controlada e temperatura programada, assegurando o completo preenchimento da cavidade moldante.

O ciclo de polimerização seguiu o programa específico P1, recomendado para a resina IvoBase Hybrid, o qual inclui mecanismos automáticos de compensação da contração e controle térmico ao longo de todo o processo. Ao final do ciclo, realizou-se a desinclusão da mufla. Os corpos de prova foram separados utilizando um disco de carborundum marrom de $38 \times 0,6$ mm (American Burs, São Paulo, Brasil) e, posteriormente, lixados com lixa de granulação #600 (3M™, St. Paul, EUA) até atingirem suas dimensões finais, depois foram limpos com água corrente e álcool 70%, visando à remoção de eventuais resíduos de cera (Figura 4).

Figura 4 - Fluxograma ilustrativo da confecção dos corpos de prova pelo grupo de Injeção.



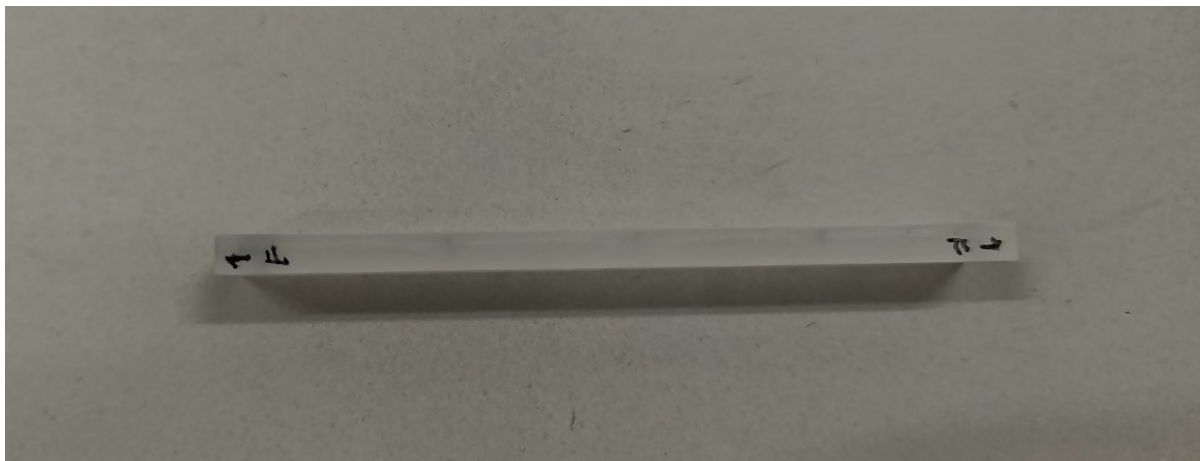
Fonte: Autores (2026).

4.2.6 Acabamento e polimento

Todos os corpos de prova foram submetidos ao acabamento e polimento de superfície pelo mesmo operador (pesquisador responsável), utilizando lixas d'água de carbeto de silício 3M™ Wetordry™, com granulações progressivas 600, 800, 1000 e 1200 (3M™, St. Paul, EUA), conforme a metodologia descrita em estudos prévios (Berli *et al.*, 2020; Rosello Jimenez *et al.*, 2023).

Após a conclusão do acabamento e polimento, os corpos de prova foram devidamente identificados com a abreviação correspondente ao grupo experimental: F (Fresagem CAD/CAM), 3D (Impressão 3D), C (Convencional) e IN (Injeção termopolimerizável), seguida de numeração sequencial de 1 a 12. A identificação foi realizada em ambas as extremidades de cada corpo de prova, utilizando caneta permanente de ponta fina (Pilot®, Permanent Marker 1.0, Tóquio, Japão), conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Corpo de prova após acabamento, polimento e marcações para identificação.



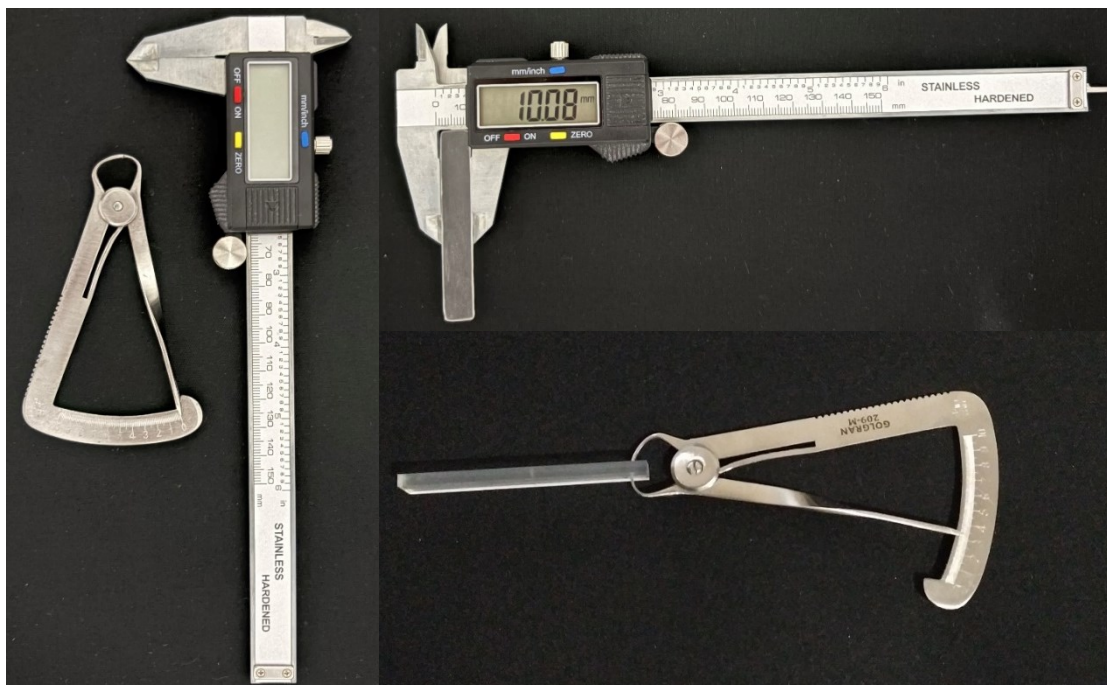
Fonte: Autores (2026).

4.3 TESTES MECÂNICOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba (FOP), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Em cada grupo experimental, os mesmos corpos de prova (n = 12) foram utilizados para a execução de todos os ensaios mecânicos. Inicialmente, foram conduzidos de forma concomitante os ensaios de resistência à flexão e de módulo de elasticidade; em seguida, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de microdureza Vickers.

Previamente aos ensaios de resistência à flexão e módulo de elasticidade, todos os corpos de prova tiveram suas dimensões aferidas por meio de um paquímetro digital universal (MTX®, modelo 316119) e de um espessímetro tipo Iwanson (Golgran®, São Caetano do Sul, Brasil), com o objetivo de verificar a conformidade dimensional antes da realização dos testes mecânicos (Figura 6).

Figura 6 – Mensuração dos corpos de prova.



Fonte: Autores (2026).

4.3.1 Resistência à flexão

O ensaio de flexão em três pontos foi realizado utilizando uma máquina de ensaio universal (Instron 4411, Instron Corp., Norwood, MA, EUA), equipada com célula de carga de 500 N. O ensaio seguiu as recomendações da norma ISO 20795-1:2013.

Os corpos de prova com dimensões de 65,0 x 10,0 x 3,3 mm ($\pm 0,2$ mm) foram posicionados sobre dois apoios com distância de 50 mm entre si, e a carga foi aplicada perpendicularmente ao centro, à velocidade constante de 5 mm/min, até a fratura.

Os valores foram expressos em megapascal (MPa) e calculados automaticamente por um programa acoplado ao equipamento, com base na seguinte equação: $RF = 3FL / 2bd^2$, onde: F = é a carga máxima aplicada (N); L = a distância entre os apoios (mm); b = a largura (mm); d = a espessura do corpo de prova (mm). Cada grupo experimental foi composto por

doze corpos de prova (n = 12), e o valor final da resistência flexural foi obtido pela média aritmética dos resultados individuais de cada grupo.

4.3.2 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade, também denominado módulo flexural, foi determinado a partir da mesma configuração utilizada no ensaio de flexão em três pontos, com base na porção elástica inicial da curva carga × deslocamento obtida por meio da máquina universal de ensaios. O cálculo, expresso em gigapascal (GPa), foi realizado de acordo com a equação descrita na norma ISO 178:2019, aplicável a materiais poliméricos: $E = L^3m / 4bd^3$, em que L corresponde à distância entre os apoios (mm), b à largura do corpo de prova (mm), d à espessura (mm) e m ao coeficiente angular da reta na região elástica da curva carga × deslocamento (N/mm).

O valor de m foi determinado automaticamente pelo software do equipamento, com base na linearidade da curva até aproximadamente 0,25% de deformação. Para cada grupo experimental (n = 12), o valor final do módulo de elasticidade foi obtido por meio da média aritmética dos valores individuais dos corpos de prova ensaiados.

4.3.3 Microdureza Vickers

A escolha do teste de microdureza Vickers nesta investigação baseou-se na norma ISO 6507-1:2023, que padroniza seu uso para materiais metálicos e não metálicos, incluindo os polímeros odontológicos, em concordância com estudos anteriores (Berli *et al.*, 2020; Prpic *et al.*, 2023; Maleki *et al.*, 2024).

O ensaio foi realizado em microdurômetro HMV-2T (Shimadzu, Quioto, Japão), equipada com um indentador de diamante piramidal do tipo Vickers, com ângulo de 136° entre as faces. Foi aplicada uma carga de 9,8 N (1 kgf) por 15 segundos, de forma perpendicular à superfície dos corpos de prova, conforme recomendado para materiais poliméricos pela ISO 6507-1:2023.

Após a remoção da carga, as diagonais da impressão deixada pelo indentador foram medidas por meio de um microscópio óptico acoplado ao equipamento, com precisão de 0,001 mm. O valor da microdureza Vickers foi calculado automaticamente pelo software do equipamento, com base na seguinte fórmula: $HV = 1,854 \times F / d^2$. Onde F = força aplicada (em kgf) e d = média das diagonais da impressão (em mm).

Para cada corpo de prova ($n = 12$), foram realizadas seis medições três na face superior e três na face inferior, respeitando uma distância mínima de 1 mm entre as indentações e evitando as bordas, garantindo a representatividade dos resultados. A média dos três valores de dureza foi calculada e registrada como o valor final de dureza para cada amostra.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos nos ensaios de dureza Vickers, resistência a flexão e módulo de elasticidade foram organizados em planilhas eletrônicas no programa Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA) e, posteriormente, analisados com o auxílio do programa de estatística IBM SPSS Statistics (versão 25.0, IBM Corp., Armonk, NY, EUA).

Inicialmente, a normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk, o qual indicou distribuição normal para os quatro grupos experimentais ($p > 0,05$). Diante disso, procedeu-se com a análise de variância (ANOVA) de uma via para comparar os valores médios de microdureza Vickers, módulo de elasticidade e resistência à flexão entre os grupos teste. Quando detectadas diferenças significativas pela ANOVA, foi aplicado o teste post hoc de Tukey para comparações múltiplas ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS

Tabela 1 - Valores médios e desvios-padrão da resistência à flexão das resinas acrílicas, de acordo com o método de fabricação.

Método	Resistência à flexão (Mpa ± DP)
Fresagem CAD/CAM	118,70 ± 5,81 ^a
Injeção termopolimerizável	110,62 ± 6,10 ^a
Convencional	91,72 ± 7,53 ^b
Impressão 3D	68,91 ± 1,92 ^c

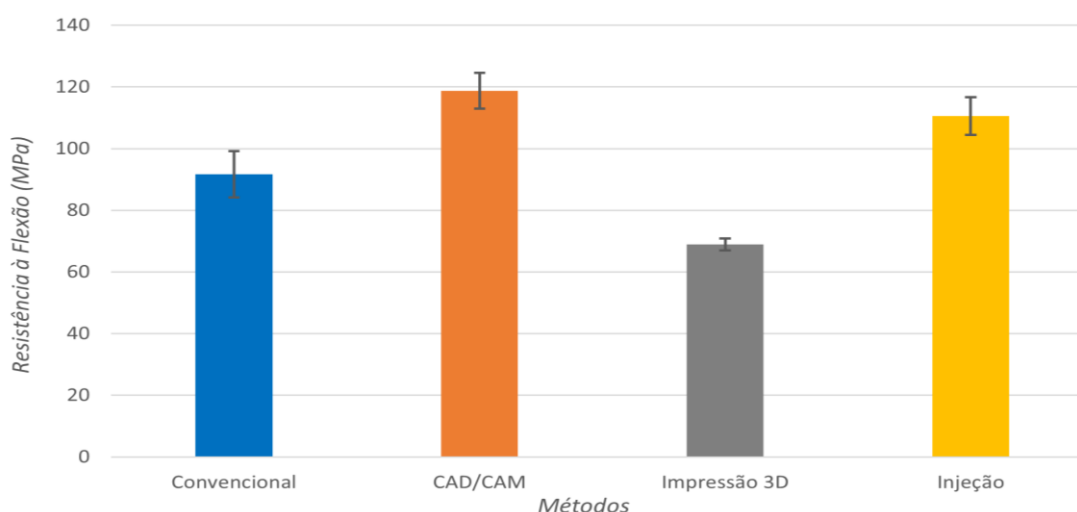
Fonte: Autores (2026).

Nota: Valores expressos como média ± desvio padrão (DP). Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos (ANOVA seguida do teste de Tukey, $p < 0,05$).

Legenda: ^a valores estatisticamente superiores aos grupos identificados pelas letras ^b e ^c; ^b valores intermediários, estatisticamente inferiores aos do grupo ^a e superiores aos do grupo ^c; ^c valores estatisticamente inferiores aos grupos identificados pelas letras ^a e ^b.

Os grupos Fresagem CAD/CAM (118,70 ± 5,81 MPa) e Injeção termopolimerizável (110,62 ± 6,10 MPa) apresentaram os maiores valores médios de resistência à flexão (Tabela 1), sem diferença estatisticamente significativa entre si ($p > 0,05$). Ambos exibiram desempenho significativamente superior aos grupos Convencional (91,72 ± 7,53 MPa) e Impressão 3D (68,91 ± 1,92 MPa) ($p < 0,05$). O grupo de Impressão 3D apresentou os menores valores de resistência à flexão, diferindo estatisticamente de todos os demais grupos avaliados ($p < 0,05$) (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Comparação da Resistência à Flexão (± DP) entre Diferentes Métodos de Confecção de Placas Oclusais



Fonte: Autores (2026).

Tabela 2 - Valores Médios e desvio-padrão do módulo de elasticidade das resinas acrílicas segundo o método de fabricação.

Método	Módulo de Elasticidade (GPa \pm DP)
Fresagem CAD/CAM	3,08 \pm 0,04 ^a
Injeção termopolimerizável	3,04 \pm 0,06 ^a
Convencional	2,86 \pm 0,07 ^b
Impressão 3D	1,76 \pm 0,06 ^c

Fonte: Autores (2026).

Nota: Valores expressos como média \pm desvio padrão (DP). Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos (ANOVA seguida do teste de Tukey, $p < 0,05$).

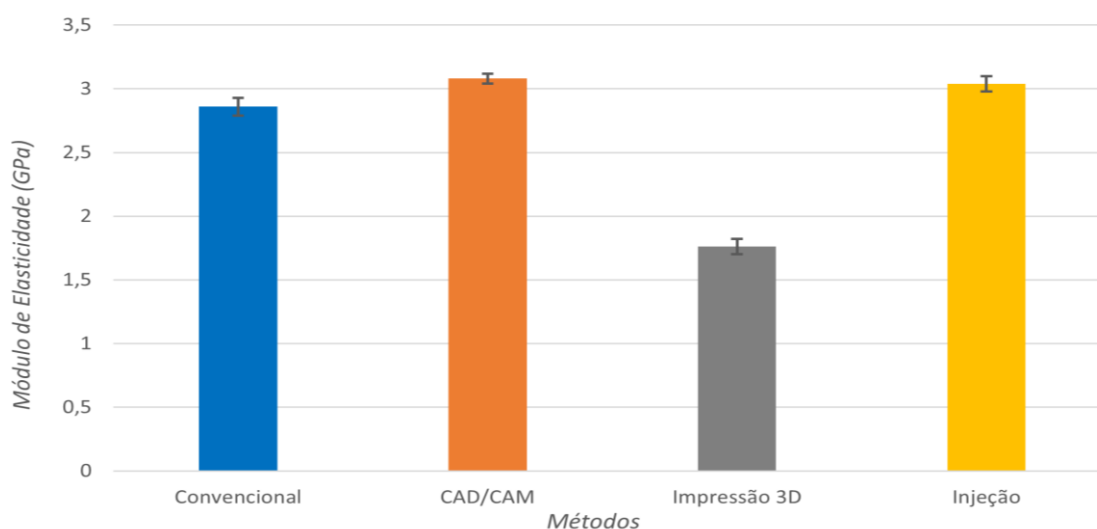
Legenda: ^a valores estatisticamente superiores aos grupos identificados pelas letras ^b e ^c;

^b valores intermediários, estatisticamente inferiores aos do grupo ^a e superiores aos do grupo ^c;

^c valores estatisticamente inferiores aos grupos identificados pelas letras ^a e ^b.

Resultados semelhantes foram observados para o módulo de elasticidade (Tabela 2), no qual os grupos Fresagem CAD/CAM (3,08 \pm 0,04 GPa) e Injeção (3,04 \pm 0,06 GPa) apresentaram os maiores valores, sem diferença estatística entre si ($p > 0,05$), porém significativamente superiores aos grupos Convencional (2,86 \pm 0,07 GPa) e Impressão 3D (1,76 \pm 0,06 GPa) ($p < 0,05$). O grupo Convencional apresentou valores intermediários, enquanto o grupo Impressão 3D demonstrou o menor módulo de elasticidade entre os métodos avaliados (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Comparação Do Módulo de Elasticidade (\pm DP) entre Diferentes Métodos de Confeção de Placas Oclusais.



Fonte: Autores (2026).

Tabela 3 - Valores Médios e desvio-padrão de microdureza Vickers das resinas acrílicas segundo o método de fabricação.

Método	Microdureza Vickers (HV \pm DP)
Fresagem CAD/CAM	44,78 \pm 1,20 ^a
Injeção termopolimerizável	43,64 \pm 1,19 ^a
Convencional	34,32 \pm 2,62 ^b
Impressão 3D	22,03 \pm 0,51 ^c

Fonte: Autores (2026).

Nota: Valores expressos como média \pm desvio padrão (DP). Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos (ANOVA seguida do teste de Tukey, $p < 0,05$).

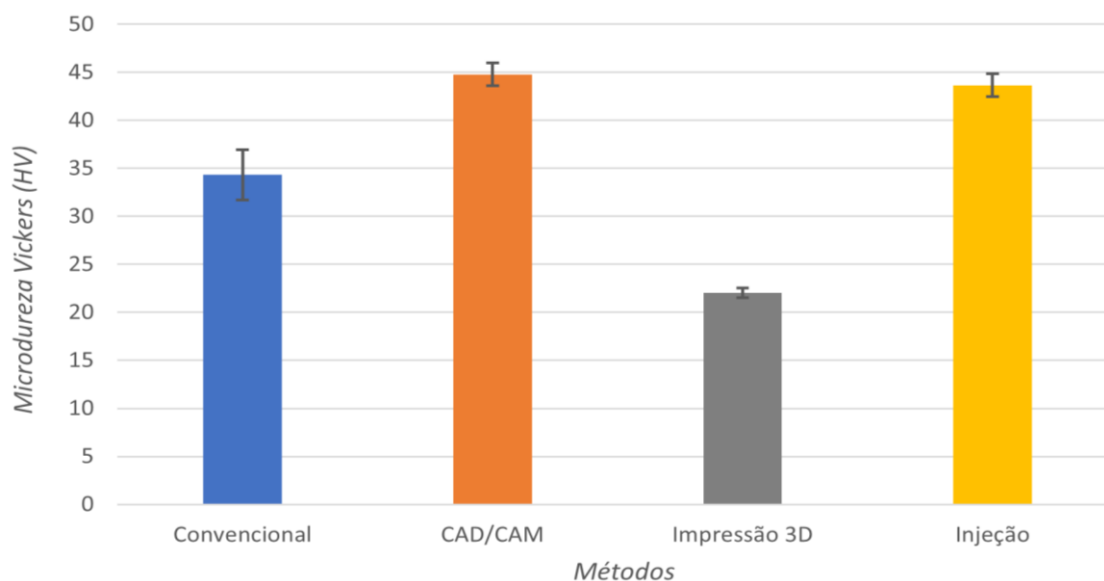
Legenda: ^a valores estatisticamente superiores aos grupos identificados pelas letras ^b e ^c;

^b valores intermediários, estatisticamente inferiores aos do grupo ^a e superiores aos do grupo ^c;

^c valores estatisticamente inferiores aos grupos identificados pelas letras ^a e ^b.

Na avaliação da microdureza Vickers (Tabela 3), os grupos Fresagem CAD/CAM (44,78 \pm 1,20 HV) e Injeção (43,64 \pm 1,19 HV) apresentaram valores estatisticamente semelhantes entre si ($p > 0,05$) e significativamente superiores aos grupos Convencional (34,32 \pm 2,62 HV) e Impressão 3D (22,03 \pm 0,51 HV) ($p < 0,05$). O grupo Impressão 3D apresentou os menores valores de microdureza, diferindo estatisticamente de todos os demais grupos, como demonstrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Comparação da Microdureza Vickers (\pm DP) entre Diferentes Métodos de Confeção de Placas Oclusais.



Fonte: Autores (2026).

6 DISCUSSÃO

Este estudo laboratorial comparou as propriedades mecânicas de resinas destinadas à confecção de placas oclusais produzidas por quatro diferentes métodos de fabricação, sendo eles a Fresagem CAD/CAM, Impressão 3D, Injeção termopolimerizável e Prensagem Convencional (grupo controle), por meio da avaliação da resistência à flexão, do módulo de elasticidade e da microdureza Vickers. De maneira geral, os materiais produzidos por Impressão 3D apresentaram desempenho mecânico significativamente inferior em comparação aos demais métodos avaliados. Assim, a hipótese nula de que o processo de fabricação não influenciaria as propriedades mecânicas dos materiais resinosos foi rejeitada.

A flexibilidade dos materiais odontológicos desempenha papel fundamental na absorção e dissipação de energia quando submetidos às cargas oclusais (Prpic *et al.*, 2023). Nesse contexto, a norma ISO 20795-1:2013 estabelece um valor mínimo de resistência à flexão de 65 MPa como critério para o desempenho adequado de materiais poliméricos. No presente estudo *in vitro*, todos os grupos avaliados apresentaram valores superiores ao limite mínimo preconizado, indicando conformidade com o padrão normativo estabelecido.

O grupo que apresentou os maiores valores de resistência à flexão foi o de Fresagem CAD/CAM ($118,70 \pm 5,81$ MPa), cujos resultados não diferiram estatisticamente do grupo Injeção ($110,62 \pm 6,10$ MPa). Ambos demonstraram desempenho significativamente superior ao grupo controle Convencional ($91,72 \pm 7,53$ MPa), que apresentou valores intermediários, sendo, por sua vez, superior ao grupo Impressão 3D. Esses achados podem ser atribuídos ao maior controle de pressão e temperatura proporcionado pelos métodos de Fresagem CAD/CAM e Injeção, quando comparados às técnicas Convencional e de Impressão 3D, favorecendo uma estrutura material mais homogênea e com menor incidência de defeitos internos. Resultados semelhantes foram descritos por Prpic *et al.* (2023), que também observaram valores de resistência à flexão superiores para o grupo Fresagem CAD/CAM em relação aos métodos Convencional e Impressão 3D.

Diante desses achados, os materiais confeccionados pelo método de Injeção termopolimerizável demonstraram desempenho mecânico confiável, com resultados estatisticamente semelhantes aos obtidos pela Fresagem CAD/CAM, especialmente no que se refere à resistência à flexão e ao módulo de elasticidade. Esse comportamento pode ser atribuído ao controle rigoroso de temperatura e à injeção contínua de material sob pressão durante o processo de polimerização, o que favorece a compensação da contração volumétrica, reduz a incorporação de bolhas e minimiza a formação de porosidades internas.

Em comparação à técnica Convencional de prensagem, o método de Injeção tende a produzir uma matriz polimérica mais homogênea, com menor incidência de defeitos estruturais e melhor adaptação interna, fatores que estão diretamente relacionados ao desempenho mecânico e à resistência à fadiga do material. Considerando que as placas oclusais são submetidas a cargas repetitivas e intensas em pacientes com bruxismo, caracterizado por atividades de apertamento e/ou ranger dos dentes, a maior homogeneidade estrutural pode contribuir para uma maior estabilidade dimensional e, potencialmente, para maior longevidade clínica. Assim, a técnica de Injeção apresenta-se como uma alternativa promissora à técnica Convencional, aliando desempenho mecânico satisfatório a um processo de fabricação mais controlado.

O módulo de elasticidade é um parâmetro diretamente associado à rigidez do material, refletindo sua capacidade de resistir à deformação elástica sob aplicação de tensão dentro do limite elástico (Prpic *et al.*, 2023). Clinicamente, essa propriedade torna-se particularmente relevante em pacientes com bruxismo, nos quais as placas oclusais são submetidas a cargas repetitivas e de elevada intensidade. Nessa situação, materiais com maior módulo de elasticidade tendem a sofrer menor deformação durante os episódios de apertamento ou ranger dental, mantendo maior estabilidade oclusal e melhor distribuição das forças ao longo da superfície da placa.

Com base nos resultados obtidos neste estudo, os grupos Fresagem CAD/CAM ($3,08 \pm 0,04$ GPa) e Injeção ($3,04 \pm 0,06$ GPa) apresentaram os maiores valores de módulo de elasticidade, sem diferença estatisticamente significativa entre si, indicando maior rigidez quando comparados ao grupo Convencional ($2,86 \pm 0,07$ GPa) e, sobretudo, ao grupo Impressão 3D ($1,76 \pm 0,06$ GPa), que apresentou os menores valores. Dessa forma, sob condições clínicas de cargas intensas e repetitivas, como no bruxismo, os materiais fresados e injetados tendem a apresentar menor deformação elástica e, potencialmente, maior estabilidade estrutural ao longo do tempo. Esses achados reforçam que a maior homogeneidade da estrutura físico-química do material, proporcionada por técnicas como a Fresagem CAD/CAM e a Injeção sob pressão, constitui um fator determinante para o desempenho mecânico e, potencialmente, para a maior longevidade clínica das placas oclusais.

A dureza de superfície é considerada uma propriedade relevante para a longevidade clínica das placas oclusais, pois está diretamente relacionada à resistência à penetração e ao risco, influenciando o comportamento do material frente ao desgaste decorrente de cargas mastigatórias repetitivas durante a parafunção. Dessa forma, materiais com maior dureza tendem a apresentar menor suscetibilidade a abrasão superficial e à perda de integridade ao

longo do tempo (Wesemann *et al.*, 2021; Maleki *et al.*, 2024; Weźgowiec *et al.*, 2025). Em pacientes com bruxismo, por exemplo, os contatos oclusais intensos e repetitivos podem gerar áreas de atrição na superfície interna da placa, favorecendo a formação de sulcos, rugosidade excessiva ou irregularidades superficiais que, com o tempo, podem comprometer a estabilidade oclusal e exigir ajustes clínicos mais frequentes. Nesses casos, materiais com maior microdureza tendem a apresentar menor suscetibilidade ao desgaste superficial.

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, os grupos Fresagem CAD/CAM ($44,78 \pm 1,20$ HV) e Injeção ($43,64 \pm 1,19$ HV) apresentaram os maiores valores de microdureza Vickers, sem diferença estatisticamente significativa entre si. Ambos foram superiores ao grupo Convencional ($34,32 \pm 2,62$ HV) e, sobretudo, ao grupo Impressão 3D ($22,03 \pm 0,51$ HV), que apresentou os menores valores.

Dessa forma, sob condições clínicas de bruxismo, materiais fresados e injetados tendem a oferecer maior resistência ao desgaste superficial, favorecendo a manutenção da anatomia oclusal da placa e, potencialmente, contribuindo para maior longevidade clínica. Esse desempenho pode ser atribuído ao maior grau de polimerização observado nos blocos industriais de PMMA e nos sistemas injetados sob pressão, o que resulta em menor porosidade e reduzido teor de monômero residual (Prpic *et al.*, 2023; Abad-Coronel *et al.*, 2023; Maleki *et al.*, 2024). Resultados semelhantes foram descritos em estudos prévios, que também observaram valores superiores de microdureza para materiais fresados por CAD/CAM e confeccionados por injeção, em comparação às resinas produzidas por impressão 3D (Wesemann *et al.*, 2021; Maleki *et al.*, 2024; Weźgowiec *et al.*, 2025).

As resinas produzidas por Impressão 3D apresentaram propriedades mecânicas significativamente inferiores em comparação aos demais métodos avaliados. Considerando que as placas oclusais são submetidas a cargas intensas e repetitivas em pacientes com bruxismo, esses achados sugerem que tais materiais podem apresentar desempenho clínico menos favorável em situações de elevada demanda mecânica, especialmente quando se busca maior estabilidade estrutural e longevidade do dispositivo. Entretanto, os materiais confeccionados por Impressão 3D podem ter indicação mais apropriada em terapias de curto prazo, configurando-se como alternativa viável para dispositivos oclusais provisórios, particularmente em contextos que não exijam resistência mecânica prolongada ou elevada durabilidade clínica.

Os valores inferiores observados para o grupo Impressão 3D podem ser explicados por fatores inerentes tanto ao processo de manufatura aditiva quanto à própria composição do material utilizado. Diferentemente das resinas fresadas a partir de blocos industriais pré-polimerizados ou das resinas injetadas sob pressão e temperatura controladas, a impressão 3D

por tecnologia DLA (Digital Light Processing com fonte de luz UV por máscara LCD) baseia-se na fotopolimerização sucessiva de camadas líquidas, o que pode favorecer a formação de interfaces intercamadas potencialmente mais frágeis. Essa característica estrutural pode atuar como zona de concentração de tensões, contribuindo para menor resistência à flexão e menor módulo de elasticidade.

Além disso, por se tratar de um sistema aberto, a presença de oxigênio atmosférico pode interferir na reação de polimerização, uma vez que o oxigênio atua como inibidor radicalar, reduzindo a conversão monomérica superficial e favorecendo a formação de uma camada com menor grau de polimerização. A própria dinâmica de fotopolimerização em camadas sucessivas, associada a possíveis limitações na etapa de pós-cura, pode resultar em polimerização incompleta ou heterogênea, impactando negativamente as propriedades mecânicas e a microdureza do material.

Outro fator relevante refere-se à composição química da resina impressa, que, diferentemente dos demais grupos, apresenta o monômero UDMA em sua formulação. Embora o UDMA seja amplamente utilizado em materiais odontológicos por conferir menor viscosidade e boa capacidade de conversão, sua estrutura química pode resultar em redes poliméricas com características mecânicas distintas do PMMA convencional, especialmente quando o grau de conversão não é ideal (Perea-Lowery *et al.*, 2021; Santis *et al.*, 2025). A presença de maior quantidade de monômero residual ou de uma matriz polimérica menos densamente reticulada pode contribuir para menores valores de resistência à flexão, módulo de elasticidade e microdureza.

Apesar do desempenho mecânico inferior observado para o grupo Impressão 3D neste estudo, é importante considerar que as propriedades desses materiais estão diretamente relacionadas tanto à formulação da resina quanto às características do processo de fabricação. A incorporação de maior quantidade de carga inorgânica, o aumento da densidade de reticulação da matriz polimérica e a otimização dos protocolos de pós-cura representam estratégias capazes de melhorar o desempenho mecânico desses materiais (Perea-Lowery *et al.*, 2021; Santis *et al.*, 2025).

Além disso, sistemas de impressão com câmaras fechadas, maior controle térmico e redução da interferência do oxigênio durante a fotopolimerização podem favorecer maior grau de conversão monomérica e maior homogeneidade estrutural. Tecnologias que promovem polimerização mais contínua e menor descontinuidade entre camadas também podem contribuir para redução de interfaces críticas e melhora da integridade mecânica (Perea-Lowery *et al.*, 2021; Santis *et al.*, 2025). Dessa forma, embora os materiais impressos tenham apresentado

desempenho inferior no presente estudo, ajustes na composição química e no controle do processo de fabricação podem, potencialmente, aproximar suas propriedades mecânicas das observadas em sistemas fresados ou injetados.

O grupo controle, representado pelo método de prensagem convencional, por se tratar da técnica pioneira e amplamente empregada na confecção de placas oclusais, apresentou propriedades mecânicas intermediárias no presente estudo. Embora tenha demonstrado desempenho inferior aos grupos Fresagem CAD/CAM e Injeção, os valores obtidos permaneceram dentro de limites considerados adequados para uso clínico.

Além disso, por demandar materiais e equipamentos relativamente simples, a técnica convencional tende a apresentar menor custo operacional quando comparada aos sistemas CAD/CAM, o que a torna uma alternativa viável e com bom custo-benefício, especialmente em contextos clínicos nos quais o investimento em tecnologia digital não é prioritário (Nassif *et al.*, 2023; Benli *et al.*, 2023; Valenti *et al.*, 2024).

Nesse contexto, o presente estudo contribui ao comparar métodos que envolvem diferentes níveis tecnológicos e distintos custos de fabricação, fornecendo subsídios para a tomada de decisão clínica baseada não apenas em desempenho mecânico, mas também em viabilidade econômica. Os resultados demonstram que, mesmo na ausência de equipamentos sofisticados associados ao fluxo digital, é possível alcançar propriedades mecânicas adequadas por meio de técnicas mais acessíveis. Assim, em regiões com menor acesso a tecnologias digitais ou em situações envolvendo pacientes com limitações financeiras, o cirurgião-dentista pode recorrer a métodos convencionais sem comprometer, de maneira significativa, a previsibilidade e a qualidade clínica do tratamento.

Entretanto, por se tratar de um estudo com delineamento *in vitro*, os achados devem ser interpretados com cautela quanto à sua extrapolação direta para a prática clínica, uma vez que não reproduzem integralmente as complexas condições biológicas, funcionais e comportamentais do ambiente bucal. Fatores como variações térmicas, presença de saliva, biofilme, fadiga mecânica cíclica e características individuais dos pacientes podem influenciar o desempenho clínico dos materiais. Dessa forma, tornam-se necessários estudos futuros, especialmente ensaios clínicos controlados e investigações *in vivo* de longo prazo, com o objetivo de validar os resultados obtidos e ampliar a compreensão acerca do comportamento clínico, da durabilidade e da longevidade dos diferentes materiais e técnicas de confecção de placas oclusais.

7 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que o método de confecção influencia significativamente as propriedades mecânicas das resinas utilizadas na fabricação de placas oclusais. Os grupos Fresagem CAD/CAM e Injeção apresentaram os maiores valores de resistência à flexão, módulo de elasticidade e microdureza Vickers, sem diferença estatisticamente significativa entre si, demonstrando desempenho mecânico superior quando comparados aos grupos Convencional e Impressão 3D. O grupo Convencional apresentou valores intermediários, enquanto o grupo Impressão 3D exibiu os menores resultados para as propriedades avaliadas.

O método de Injeção configura-se como uma alternativa tecnicamente viável para a confecção de placas oclusais, uma vez que apresentou desempenho mecânico semelhante ao obtido pelo método Fresagem CAD/CAM, podendo representar uma opção clínica com potencial equilíbrio entre desempenho estrutural e viabilidade operacional.

REFERÊNCIAS

- ABAD-CORONEL, C. *et al.* Comparative analysis between conventional acrylic, CAD/CAM milled, and 3D CAD/CAM printed occlusal splints. **Materials**, v. 16, n. 18, p. 6269, 2023. DOI: 10.3390/ma16186269. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma16186269>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- AINOOSAH, S. *et al.* Comparative analysis of different types of occlusal splints for the management of sleep bruxism: a systematic review. **BMC Oral Health**, v. 24, n. 1, p. 29, 2024. DOI: 10.1186/s12903-023-03782-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03782-6>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- ALBAGIEH, H. *et al.* Occlusal splints: types and effectiveness in temporomandibular disorder management. **Saudi Dental Journal**, v. 35, n. 1, p. 70–79, 2023. DOI: 10.1016/j.sdentj.2022.12.013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2022.12.013>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- BENLI, M.; AL-HAJ HUSAIN, N.; OZCAN, M. Mechanical and chemical characterization of contemporary occlusal splint materials fabricated with different methods: a systematic review. **Clinical Oral Investigations**, v. 27, n. 12, p. 7115–7141, 2023. DOI: 10.1007/s00784-023-05360-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05360-0>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- BERLI, C. *et al.* Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 124, n. 6, p. 780–786, 2020. DOI: 10.1016/j.prosdent.2019.10.024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.10.024>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- DE GOIS MOREIRA, F. G. *et al.* Influence of 3D printing system, postpolymerization and aging protocols on resin flexural strength and dimensional stability for printing occlusal splints, models and temporary restorations. **Clinical Oral Investigations**, v. 28, n. 11, p. 604, 2024. DOI: 10.1007/s00784-024-05998-4. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05998-4>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- DE PAULA LOPEZ, V. *et al.* Mechanical performance of 3-dimensionally printed resins compared with conventional and milled resins for the manufacture of occlusal devices: a systematic review. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 132, n. 6, p. 1262–1269, 2024. DOI: 10.1016/j.prosdent.2022.12.006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.12.006>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- EMAM, A. M. *et al.* Effect of duplication techniques on the fitting accuracy of CAD-CAM milled, 3D-printed, and injection-molded mandibular complete denture bases. **Dentistry Journal**, v. 12, n. 2, p. 32, 2024. DOI: 10.3390/dj12020032. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/dj12020032>. Acesso em: 25 fev. 2026.
- FERREIRA, G. F.; GAMA, L. T.; RODRIGUES GARCIA, R. C. M. Effect of occlusal appliances on the sleep of individuals with bruxism: a systematic review and meta-analyses. **Cranio**, v. 44, n. 1, p. 59–70, 2024. DOI: 10.1080/08869634.2024.2444712. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/08869634.2024.2444712>. Acesso em: 25 fev. 2026.

GIBREEL, M. *et al.* Characterization of occlusal splint materials: CAD-CAM versus conventional resins. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 124, p. 104813, 2021. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2021.104813. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104813>. Acesso em: 25 fev. 2026.

GIBREEL, M. *et al.* Two-body wear and surface hardness of occlusal splint materials. **Dental Materials Journal**, v. 41, n. 6, p. 916–922, 2022. DOI: 10.4012/dmj.2022-100. Disponível em: <https://doi.org/10.4012/dmj.2022-100>. Acesso em: 25 fev. 2026.

GRYMAK, A. *et al.* Comparison of hardness and polishability of various occlusal splint materials. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 115, p. 104270, 2021. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2020.104270. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104270>. Acesso em: 25 fev. 2026.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 178:2019**. Plastics - Determination of flexural properties. Geneva: ISO, 2019. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/70513.html>. Acesso em: 25 fev. 2026.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 20795-1:2013**. Dentistry - Base polymers - Part 1: Denture base polymers. Geneva: ISO, 2013. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/62277.html>. Acesso em: 25 fev. 2026.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6507-1:2023**. Metallic materials - Vickers hardness test - Part 1: Test method. Geneva: ISO, 2023. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/83898.html>. Acesso em: 25 fev. 2026.

JEONG, Y. G.; LEE, W. S.; LEE, K. B. Accuracy evaluation of dental models manufactured by CAD/CAM milling method and 3D printing method. **Journal of Advanced Prosthodontics**, v. 10, n. 3, p. 245–251, 2018. DOI: 10.4047/jap.2018.10.3.245. Disponível em: <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.3.245>. Acesso em: 25 fev. 2026.

MALEKI, T. *et al.* Mechanical and physical properties of splint materials for oral appliances produced by additive, subtractive and conventional manufacturing. **Dental Materials**, v. 40, n. 8, p. 1171–1183, 2024. DOI: 10.1016/j.dental.2024.05.030. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2024.05.030>. Acesso em: 25 fev. 2026.

MANFREDINI, D. *et al.* Bruxism: overview of current knowledge and future perspectives. **Journal of Oral Rehabilitation**, v. 48, n. 4, p. 413–429, 2021. DOI: 10.1111/joor.12454. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ors.12454>. Acesso em: 25 fev. 2026.

MATHAR, M. I. *et al.* Evaluation of flexural strength and Vickers microhardness of three different denture base resin materials. **Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences**, v. 16, Suppl. 4, p. S3470–S3472, 2024. DOI: 10.4103/jpbs.jpbs_924_24. Disponível em: https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_924_24. Acesso em: 25 fev. 2026.

MAYTA, B. S. *et al.* Effect of preservation on the mechanical properties of 3D printing resins for occlusal splints. **Brazilian Oral Research**, v. 39, e060, 2025. DOI:

10.1590/1807-3107bor-2025.vol39.060. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2025.vol39.060>. Acesso em: 25 fev. 2026.

MOSLEHIFARD, E. *et al.* Comparison of conventional pressure-packed and injection molding processing methods for an acrylic resin denture based on microhardness, surface roughness, and water sorption. **International Journal of Dentistry**, v. 2022, p. 7069507, 2022. DOI: 10.1155/2022/7069507. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/7069507>. Acesso em: 25 fev. 2026.

NASSIF, M. *et al.* Materials and manufacturing techniques for occlusal splints: a literature review. **Journal of Oral Rehabilitation**, v. 50, p. 1348–1354, 2023. DOI: 10.1111/joor.13550. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/joor.13550>. Acesso em: 25 fev. 2026.

ORZESZEK, S. *et al.* Efficiency of occlusal splint therapy on orofacial muscle pain reduction: a systematic review. **BMC Oral Health**, v. 23, n. 1, p. 180, 2023. DOI: 10.1186/s12903-023-02897-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02897-0>. Acesso em: 25 fev. 2026.

PEREA-LOWERY, L. *et al.* Evaluation of the mechanical properties and degree of conversion of 3D printed splint material. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 115, p. 104254, 2021. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2020.104254. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104254>. Acesso em: 25 fev. 2026.

PRPIC, V. *et al.* Mechanical properties of 3D-printed occlusal splint materials. **Dentistry Journal**, v. 11, n. 8, p. 199, 2023. DOI: 10.3390/dj11080199. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/dj11080199>. Acesso em: 25 fev. 2026.

ROSELLO JIMENEZ, J. R. *et al.* Aging processes and their influence on the mechanical properties of printable occlusal splint materials. **Polymers**, v. 15, n. 23, p. 4574, 2023. DOI: 10.3390/polym15234574. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym15234574>. Acesso em: 25 fev. 2026.

SANTIS, L. R. *et al.* Aging and post-polymerization effects on conversion degree and properties of additive splint materials. **Brazilian Oral Research**, v. 39, e017, 2025. DOI: 10.1590/1807-3107bor-2025.vol39.017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2025.vol39.017>. Acesso em: 25 fev. 2026.

SCHWITALLA, A.; MÜLLER, W. D. PEEK dental implants: a review of the literature. **Journal of Oral Implantology**, v. 39, n. 6, p. 743–749, 2013. DOI: 10.1563/AAID-JOI-D-11-00002. Disponível em: <https://doi.org/10.1563/AAID-JOI-D-11-00002>. Acesso em: 25 fev. 2026.

SIMEON, P. *et al.* Wear resistance and flexural properties of low force SLA- and DLP-printed splint materials in different printing orientations: an in vitro study. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 152, p. 106458, 2024. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2024.106458. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2024.106458>. Acesso em: 25 fev. 2026.

SOUSA, B. M. *et al.* Different treatments in patients with temporomandibular joint disorders: a comparative randomized study. **Medicina (Kaunas)**, v. 56, n. 3, p. 113, 2020. DOI: 10.3390/medicina56030113. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/medicina56030113>. Acesso em: 25 fev. 2026.

SOUZA, A. L. C.; CRUVINEL FILHO, J. L. O.; ROCHA, S. S. Flexural strength and Vickers hardness of milled and 3D-printed resins for provisional dental restorations. **Brazilian Journal of Oral Sciences**, v. 22, e238439, 2023. DOI: 10.20396/bjos.v22i00.8668439. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/bjos.v22i00.8668439>. Acesso em: 25 fev. 2026.

TIAN, Y. *et al.* A review of 3D printing in dentistry: technologies, affecting factors, and applications. **Scanning**, v. 2021, p. 9950131, 2021. DOI: 10.1155/2021/9950131. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2021/9950131>. Acesso em: 25 fev. 2026.

VALENTI, C. *et al.* Mechanical and biological properties of polymer materials for oral appliances produced with additive 3D printing and subtractive CAD-CAM techniques compared to conventional methods: a systematic review and meta-analysis. **Clinical Oral Investigations**, v. 28, n. 7, p. 396, 2024. DOI: 10.1007/s00784-024-05772-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05772-6>. Acesso em: 25 fev. 2026.

VALENTI, C. *et al.* Mechanical properties of 3D printed prosthetic materials compared with milled and conventional processing: a systematic review and meta-analysis of in vitro studies. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 132, n. 2, p. 381–391, 2024. DOI: 10.1016/j.prosdent.2022.06.008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.06.008>. Acesso em: 25 fev. 2026.

WANG, S. *et al.* Preliminary clinical evaluation of traditional and a new digital PEEK occlusal splints for the management of sleep bruxism. **Journal of Oral Rehabilitation**, v. 47, n. 12, p. 1530–1537, 2020. DOI: 10.1111/joor.13083. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/joor.13083>. Acesso em: 25 fev. 2026.

WESEMANN, C. *et al.* Accuracy and its impact on fit of injection molded, milled and additively manufactured occlusal splints. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 114, p. 104179, 2021. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2020.104179. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104179>. Acesso em: 25 fev. 2026.

WEŹGOWIEC, J.; MAŁYSA, A.; WIĘCKIEWICZ, M. How does artificial aging affect the mechanical properties of occlusal splint materials processed via various technologies? **Dental and Medical Problems**, v. 62, n. 3, p. 527–535, 2025. DOI: 10.17219/dmp/174708. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38686973/>. Acesso em: 25 fev. 2026.

ZAFAR, M. S. Prosthodontic applications of polymethyl methacrylate (PMMA): an update. **Polymers**, v. 12, n. 10, p. 2299, 2020. DOI: 10.3390/polym12102299. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym12102299>. Acesso em: 25 fev. 2026.