

# REUTILIZAÇÃO DE MONÔMEROS NA IMPRESSÃO 3D ODONTOLÓGICA: IMPACTO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E ESTABILIDADE DIMENSIONAL

**Palavras-Chave:** Impressão Tridimensional, Restaurações Indiretas, Resinas para Impressão.

**Autores(as):**

**Luiz Flávio de Paiva Rezende, FOP-UNICAMP**

**Victor Passamani Marques, FOP-UNICAMP**

**Prof. Dr. Mario Fernando de Goes, FOP-UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO

A impressão tridimensional (3D) tem se consolidado como uma tecnologia amplamente aplicada em diversas áreas, incluindo a Odontologia (1,2). Seu uso crescente está relacionado à possibilidade de produzir estruturas complexas a partir de materiais específicos para manufatura aditiva (3), viabilizando a confecção de diversos dispositivos odontológicos, como guias cirúrgicos, restaurações provisórias, aparelhos interoclusais e alinhadores ortodônticos (4–6). Entre suas principais vantagens destacam-se a agilidade na produção, menor desperdício de material e a possibilidade de fabricar múltiplos itens simultaneamente (7,8), superando algumas limitações da manufatura subtrativa (CAD/CAM).

Na impressão 3D odontológica, o método aditivo (MA) permite a construção de objetos por deposição sucessiva de camadas de materiais resinosos, cerâmicos ou metálicos com base em modelos 3D digitais (8,9). A estereolitografia (SLA) foi um dos primeiros métodos desenvolvidos, utilizando fontes de luz ultravioleta (UV) ou visível (LED/LCD) para polimerizar seletivamente resinas fotossensíveis (10), que geralmente contêm fotoiniciadores ativados pela luz UV (11). Para a técnica MA, resinas com diferentes composições à base de acrilatos e epóxi foram formuladas (12,13), sendo aplicadas em tanques sobre placas LCD, onde são fotopolimerizadas camada a camada até a formação final do objeto (14,15).

Entretanto, essas resinas apresentam uma mistura heterogênea de monômeros e oligômeros, que podem não reagir completamente durante a polimerização devido à rápida gelificação das camadas, resultando em uma estrutura final menos homogênea e frágil (11,15). Apesar dessas limitações, é prática comum nos laboratórios reutilizar a resina líquida remanescente no tanque após as impressões, conforme recomendação de fabricantes (16). Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos

da reutilização dos monômeros na impressão 3D sobre as propriedades físico-mecânicas e estabilidade dimensional dos produtos fabricados.

## **METODOLOGIA**

A resina fotopolimerizável Prizma 3D BioProv foi utilizada para confecção de restaurações indiretas por meio de impressão 3D. Os corpos de prova foram modelados no software Autodesk Fusion 360, fatiados no Chitubox, e impressos utilizando tecnologia LCD (Anycubic Photon Mono X), com espessura de camadas de 50 µm e orientação de construção de 0°. Após impressão, os corpos de prova foram lavados com álcool isopropílico 99,8% e submetidos à pós-cura em câmara luz UV. O grupo controle (G1) utilizou resina nova. Os grupos experimentais (G2 a G10) representaram ciclos sucessivos de reutilização da mesma resina líquida remanescente.

Para análise da resistência à flexão (RS) e do módulo de elasticidade (ME), foram confeccionados dez corpos de prova por grupo, com dimensões de 25×2×2 mm, após armazenamento por 24h em água a 37°C, os corpos de prova foram submetidos ao de ensaio de flexão em três pontos, utilizando uma máquina de ensaio universal (Instron 4411).

A microdureza Knoop foi determinada com aplicação de carga de 50gf por 10s, realizando cinco indentações na superfície de cada corpo de prova, com espaçamento de 0,5 mm entre elas, utilizando o microduromêtro Shimadzu HVM-2000.

A estabilidade dimensional foi avaliada por meio da comparação entre as dimensões previstas no modelo CAD e aquelas obtidas nas peças impressas. As mensurações foram realizadas em microscópio comparador com precisão de 0,5 µm, e os resultados expressos como erro percentual (positivo ou negativo) em relação ao projeto original.

A análise estatística foi realizada utilizando o software Jamovi. Inicialmente, os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homocedasticidade para verificar a adequação das premissas para a análise paramétrica. Em seguida, foi aplicada a ANOVA de um fator, adotando-se o nível de significância de  $p \leq 0,05$ . O teste post hoc de Tukey foi utilizado para identificar diferenças significativas entre os grupos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1. Estabilidade Dimensional

Os corpos de prova apresentaram variações dimensionais entre 24,62 mm e 24,80 mm no comprimento, 1,93 mm e 2,17 mm na largura e 1,99 mm e 2,11 mm na espessura. Essas medidas indicaram dimensões uniformidade dimensional, permanecendo dentro dos limites aceitáveis em relação ao modelo CAD projetado (25 mm x 2 mm x 2 mm), não havendo diferenças estatísticas significativas entre os grupos analisados.

### 2. Resistência à Flexão

Os valores de resistência à flexão variaram aproximadamente entre 85 MPa a 115 MPa. Os grupos G3, G4, G6 e G9 apresentaram melhores desempenhos médios, enquanto o G5 apresentou a menor média. O grupo G8 destacou-se pela alta variabilidade entre os resultados. No entanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

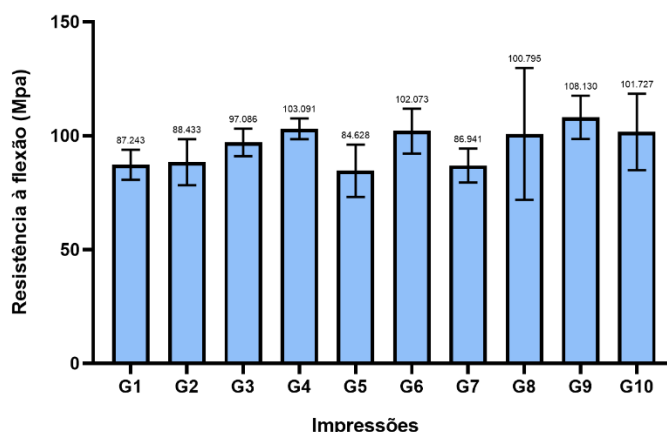


Gráfico 1: Média e desvio padrão da resistência à flexão (MPa) da resina impressa de acordo com o número de impressões.

### 3. Módulo de Elasticidade

Os valores do módulo de elasticidade variaram entre aproximadamente 1,65 GPa e 2,10 GPa. Os grupos como G4 e G6 se destacaram por apresentarem maiores valores, indicando maior resistência à deformação elástica. Em contrapartida, os grupos G1, G2, G5 e G8 registraram os menores valores. Não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os grupos ( $p > 0,05$ ).

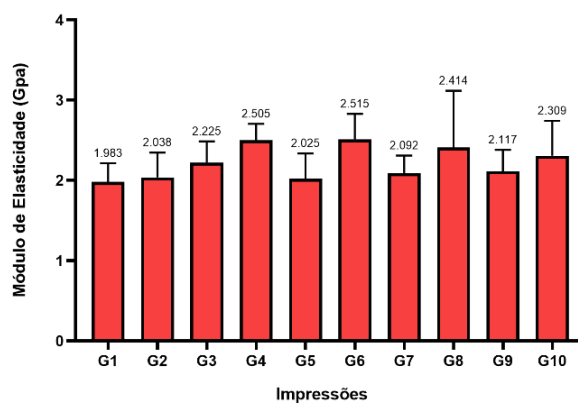


Gráfico 2: Média e desvio padrão do módulo de elasticidade (GPa) da resina impressa de acordo com o número de impressões.

#### 4. Microdureza Knoop

Os valores de microdureza Knoop (KHN) variaram entre 9,8 e 14,2. O grupo G9 apresentou a maior média, seguido por G7 e G5. Por outro lado, o grupo G3 registrou a menor média e maior dispersão dos dados. Os demais grupos apresentaram valores intermediários, variando entre 11,4 e 13 KHN. A análise estatística não revelou diferenças significativas entre os grupos ( $p > 0,05$ ).

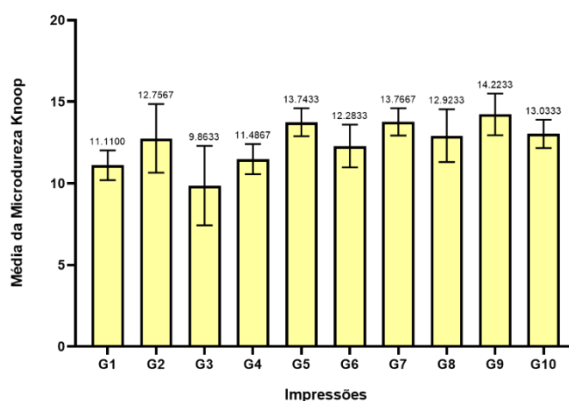


Gráfico 3: Média e desvio padrão da microdureza Knoop da resina impressa de acordo com o número de impressões.

Os resultados demonstraram que a reutilização sucessiva da resina Prizma 3D manteve a precisão dimensional dos corpos de prova, com variações mínimas em relação ao projeto original. As propriedades mecânicas, incluindo resistência à flexão, módulo de elasticidade e microdureza, também se mantiveram estáveis ao longo dos ciclos de reaproveitamento, sem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos avaliados ( $p > 0,05$ ). Esses achados sugerem que o reaproveitamento controlado do monômero remanescente pode ser uma alternativa viável e sustentável para a impressão 3D com resinas fotopolimerizáveis. Entretanto, deve ser ressaltado que o estudo foi conduzido com apenas uma formulação comercial de resina e um número limitado de ciclos de reutilização, o que limita a generalização dos resultados. Assim, recomenda-se investigações futuras envolvendo diferentes formulações comerciais e cenários de uso mais prolongados para validar a aplicabilidade desses resultados em contexto clínico e laboratorial.

## CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstraram que a reutilização controlada de monômeros resinosos em processos de impressões 3D não compromete significativamente as propriedades dimensionais, mecânicas e superficiais dos produtos fabricados.

## BIBLIOGRAFIA

1. Borella PS, Alvares LAS, Ribeiro MTH, Moura GF, Soares CJ, Zancopé K, et al. Physical and mechanical properties of four 3D-printed resins at two different thick layers: An in vitro comparative study. *Dental Materials*. 2023;39(8):686–92.
2. Espinar C, Bona A Della, Pérez MM, Tejada-Casado M, Pulgar R. The influence of printing angle on color and translucency of 3D printed resins for dental restorations. *Dental Materials*. 2023;39(4):410–7.
3. Unkovskiy A, Bui PHB, Schille C, Geis-Gerstorfer J, Huettig F, Spintzyk S. Objects build orientation, positioning, and curing influence dimensional accuracy and flexural properties of stereolithographically printed resin. *Dental Materials*. 2018;34(12):e324–33.
4. Tahayeri A, Morgan MC, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, et al. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dental Materials*. 2018;34(2):192–200.
5. Tartaglia GM, Mapelli A, Maspero C, Santaniello T, Serafin M, Farronato M, et al. Direct 3D printing of clear orthodontic aligners: Current state and future possibilities. *Materials*. 2021;14(7):1–11.
6. Khorsandi D, Fahimipour A, Abasian P, Saber SS, Seyedi M, Ghanavati S, et al. 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications. *Acta Biomater*. 2021; 122:26–49.
7. Jain S, Sayed ME, Shetty M, Alqahtani SM, Al Wadei MHD, Gupta SG, et al. Physical and Mechanical Properties of 3D-Printed Provisional Crowns and Fixed Dental Prosthesis Resins Compared to CAD/CAM Milled and Conventional Provisional Resins: A Systematic Review and Meta-Analysis. Vol. 14, *Polymers*. MDPI; 2022.
8. Reymus M, Fabritius R, Keßler A, Hickel R, Edelhoff D, Stawarczyk B. Fracture load of 3D-printed fixed dental prostheses compared with milled and conventionally fabricated ones: the impact of resin material, build direction, post-curing, and artificial aging—an in vitro study. *Clin Oral Investig*. 2020 Feb 1;24(2):701–10.
9. Oh R, Lim JH, Lee CG, Lee KW, Kim SY, Kim JE. Effects of washing solution temperature on the biocompatibility and mechanical properties of 3D-Printed dental resin material. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2023 Jul 1;143.
10. Sulaiman TA. Materials in digital dentistry—A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2020 Mar 1;32(2):171–81.
11. Quan H, Zhang T, Xu H, Luo S, Nie J, Zhu X. Photo-curing 3D printing technique and its challenges. Vol. 5, *Bioactive Materials*. KeAi Communications Co.; 2020. p. 110–5.
12. Atria PJ, Bordin D, Marti F, Nayak VV, Conejo J, Benalcázar Jalkh E, et al. 3D-printed resins for provisional dental restorations: Comparison of mechanical and biological properties. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2022 Jul 1;34(5):804–15.
13. Folwaczny M, Ahantab R, Kessler A, Ern C, Frasheri I. Cytotoxicity of 3D printed resin materials for temporary restorations on human periodontal ligament (PDL-hTERT) cells. *Dental Materials*. 2023 May 1;39(5):529–37.
14. Kafle A, Luis E, Silwal R, Pan HM, Shrestha PL, Bastola AK. 3d/4d printing of polymers: Fused deposition modelling (fdm), selective laser sintering (sls), and stereolithography (sla). Vol. 13, *Polymers*. MDPI; 2021.
15. Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D printing in dentistry-state of the art. *Oper Dent*. 2020 Jan 1;45(1):30–40.
16. MakertechLabs. Resina PriZma BioProv. Perfil técnico do produto. *Acesso em 09 de maio de 2024*.
17. International Organization for Standardization. ISO 4049: 2019. Dentistry -Polymer based restorative materials. ISO: Geneva, 2019.