

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS DE RESINAS IMPRESSAS 3D INDICADAS PARA RESTAURAÇÕES INDIRETAS PERMANENTES: REVISÃO DE LITERATURA

*STUDY OF THE MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF 3D PRINTED RESINS INDICATED
FOR PERMANENT INDIRECT RESTORATIONS: LITERATURE REVIEW*

Jaine Cristina de FREYN¹
Vanessa Lucy DAMBROSO¹
Yasmine Mendes PUPO²
Eloisa Andrade de PAULA³
Ana Paula Gebert de Oliveira FRANCO^{*4}

RESUMO

Objetivo: O objetivo do estudo foi realizar uma revisão da literatura das propriedades mecânicas e físicas das resinas impressas 3D produzidas pelo método aditivo indicadas para restaurações indiretas permanentes. **Metodologia:** Foram selecionados 25 artigos em inglês, no período entre 2018 e 2025, utilizando as palavras-chaves “permanent restorations”, “indirect”, “3D printing”, “mechanical properties”, “color stability”, “wear”, “flexural strength”. **Resultados:** As propriedades mecânicas das resinas impressas 3D produzidas pelo método aditivo são inferiores às das resinas compostas convencionais e às resinas fresadas. A profundidade de desgaste apresentou resultados controversos. A estabilidade de cor é inferior, mas carece de investigação por tempo maior de imersão em outras substâncias corantes além do vinho tinto. **Considerações finais:** As propriedades mecânicas e físicas das resinas impressas 3D produzidas pelo método aditivo devem ser melhor investigadas, pois existe um número reduzido de artigos na literatura referentes a esse tema.

PALAVRAS-CHAVE: Impressão 3D; Odontologia digital; Propriedades.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study was to conduct a literature review on the mechanical and physical properties of 3D printed resins produced using the additive method, indicated for indirect permanent restorations. **Methodology:** Twenty-five articles in English were selected between 2018 and 2025, using the keywords "permanent restorations," "indirect", "3D printing", "mechanical properties", "color stability", "wear" and "flexural strength." **Results:** The mechanical properties of 3D printed resins produced using the additive method are inferior to those of conventional composite resins and milled resins. The wear depth showed controversial results. Color stability is inferior, but caution should be exercised in investigating the longer addition time of colorants other than red wine. **Final considerations:** The mechanical and physical properties of 3D printed resins produced using the additive method require further investigation, as there are a limited number of articles in the literature on this topic.

KEYWORDS: 3D printing; Digital dentistry; Properties.

¹Acadêmico de Odontologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, Brasil.

²Cirurgiã Dentista. Doutora em Odontologia. Professora do Curso de Odontologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, Brasil.

³Cirurgiã Dentista. Doutora em Odontologia. Professora do Curso de Odontologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, Brasil.

⁴Cirurgiã Dentista. Doutora em Odontologia. Professora do Curso de Odontologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, Brasil.

*E-mail para correspondência: anapaula.gebert@gmail.com

O presente estudo é inédito, não apresenta fontes de financiamento, não apresenta conflitos de interesse e não necessita de aprovação ética, pois se trata de uma revisão de literatura

1 INTRODUÇÃO

O fluxo digital tem sido adotado nas diversas áreas da Odontologia por cirurgiões-dentistas e técnicos dentais. A dentística restauradora tem utilizado frequentemente a técnica de escaneamento intraoral associada a softwares de desenho e ao sistema CAD-CAM. Essa técnica é baseada na aquisição, processamento de dados e na produção de dispositivos odontológicos^{1,2}. A tecnologia CAD-CAM abrange métodos de produção subtrativos e aditivos e novos materiais restauradores como as resinas impressas 3D para restaurações indiretas permanentes³. Os métodos subtrativos envolvem a fresagem de blocos de materiais seguindo o desenho da peça que foi planejada no software. Os métodos de produção aditivos, também denominados de prototipagem rápida, são realizados por meio de uma impressora tridimensional (3D).

O método de impressão 3D é revolucionário e apresenta um futuro muito promissor na área da Dentística Restauradora¹⁻⁴. O projeto do desenho de uma restauração indireta é planejado em um software de desenho 3D e salvo em arquivo. stl. Esse desenho é dividido em camadas e as camadas são fundidas e impressas^{5,6}.

Entre os métodos de impressão 3D aditivos os mais conhecidos são a estereolitografia (SLA) e o processamento digital por luz (DLP). O SLA utiliza luz ultravioleta para polimerizar a resina fotossensível. O laser desenha uma seção transversal do objeto para formar uma nova camada que é polimerizada. Em seguida, a plataforma de construção é submersa no fluido de impressão não curado para cobrir a camada anterior e o processo de impressão é repetido. Após a repetição de vários procedimentos o objeto é finalmente construído.

A tecnologia DLP é semelhante à SLA. A diferença entre elas é a fonte de luz. Na DLP as camadas de resina fotossensível são irradiadas e curadas com luz ultravioleta (UV) projetada⁷. O produto final também é uma peça 3D criada camada por camada.

Essas técnicas se tornaram populares principalmente pelo fato de permitirem impressoras mais compactas^{8,9} associando a alta precisão com a velocidade, a qualidade de impressão, a economia de tempo e material se comparada às técnicas de fresagem, a redução de desperdícios, a diminuição de emissões de CO₂, a eficiência energética e a capacidade de oferecer serviços personalizados^{1-2,8,10}. Apesar das vantagens das impressoras 3D, algumas limitações devem ser consideradas como a contração de polimerização, o procedimento de pós-processamento, a calibração da impressora e do material utilizado e a curva de aprendizado dos profissionais que utilizam essa tecnologia¹¹.

Materiais resinosos destinados a confecção de restaurações indiretas permanentes têm sido desenvolvidos e lançados no mercado odontológico. As resinas compostas impressas 3D são à base

de resinas acrílicas fotopolimerizáveis¹². A adição de partículas de cerâmica e nanopartículas originaram uma nova classe de materiais, as resinas compostas nano-híbridas para impressão 3D, as quais permitem a confecção de restaurações dentais permanentes^{13,14}. Pouco se conhece sobre as propriedades mecânicas desses novos materiais¹⁵. As propriedades mecânicas são influenciadas pelo material de composição da matriz resinosa e pela porcentagem de partículas de carga¹⁶. Características como resistência ao desgaste e estabilidade de cor também são importantes de serem investigadas. Portanto, o objetivo do estudo foi realizar uma revisão de literatura sobre as propriedades mecânicas, resistência ao desgaste e estabilidade de cor de resinas impressas 3D para restaurações indiretas permanentes produzidas pelo método aditivo.

2 METODOLOGIA

O estudo teve como metodologia a busca ativa de artigos originais publicados. Buscou-se realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o tema central: propriedades mecânicas de resistência à flexão, resistência ao desgaste e estabilidade de cor das resinas 3D para restaurações indiretas permanentes produzidas pelo método aditivo. Com a finalidade de delimitar o objeto de estudo, optou-se por selecionar apenas produções na forma de artigos publicados de 2018 a 2025. Os artigos foram pesquisados na base de dados Pubmed, utilizando os seguintes termos: “*permanent restorations*”, “*indirect*”, “*3D printing*”, “*mechanical properties*”, “*color stability*”, “*wear*” e “*flexural strength*” resultando em 34 artigos.

A revisão da literatura foi realizada sendo adotados os seguintes critérios de inclusão: 1) ter sido publicado no período de 2018 a 2025; 2) o assunto descrito ser pertinente ao objeto de estudo; 3) objetivo claro e ser fiel ao objeto de estudo; 4) ser baseado em literatura anterior; 5) artigos que disponibilizam o texto completo; 6) artigos *in vitro*; 7) artigos que avaliam a resistência mecânica do material à flexão e ao desgaste das resinas impressas 3D para restaurações indiretas permanentes pelo método de produção aditivo; 8) artigos que avaliam a estabilidade de cor das resinas impressas 3D para restaurações indiretas permanentes pelo método de produção aditivo; 9) estudos em restaurações indiretas (*inlay*, *onlay* e *overlay*); 10) estudos em dentes permanentes; 11) conclusão de acordo com o encontrado.

Foram excluídos estudos realizados com dentes decíduos, coroas totais (sobre dente e sobre implante) e facetas, resinas indiretas 3D impressas para restaurações provisórias, artigos *in vivo*, ensaios clínicos, casos clínicos, relatos de caso, artigos que não disponibilizam o texto completo e que avaliam a distribuição das forças por meio do método dos elementos finitos, outras propriedades

mecânicas e características de superfície, de adaptação marginal e resistência adesiva e estudos que analisam a relação entre o material e a estrutura dental. Após a análise, considerando-se os critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 25 artigos.

3 RESULTADOS

Os estudos selecionados pela presente revisão de literatura relacionados à investigação das propriedades de resistência flexural comparam resinas impressas 3D obtidas por métodos aditivos como resinas 3D produzidas por métodos subtrativos (fresadas), resinas compostas convencionais e cerâmicas produzidas pelo método subtrativo. Os resultados obtidos pela maioria dos estudos mostram que os valores de resistência flexural das resinas impressas 3D produzidas por métodos aditivos apresentaram-se inferiores quando comparadas com resinas 3D produzidas pelo método subtrutivo e resinas compostas convencionais nano-híbridas.

Prause *et al.*¹⁷ encontraram valores de resistência flexural biaxial para VarseoSmile Plus (resina 3D impressa produzida pelo método aditivo) (BEGO, Bremen, Alemanha) (83.5 ± 18.5 Mpa) quando comparada à Voco Grandio (resina composta nano-híbrida convencional) (Voco, Cuxhaven, Alemanha) (237.3 ± 31.6 Mpa) e à Vita Enamic (resina 3D produzida pelo método subtrativo) (Vita Zanbabrik, Bad-Sackingen, Baden-Wurttemberg, Alemanha) (140.3 ± 12.9 Mpa).

Sahin *et al.*¹⁸ demonstraram valores de resistência flexural para resinas 3D produzidas pelo método subtrativo Cerasmart (218.90 ± 92.04 MPa) (GC, Curitiba, Paraná, Brasil), Lava Ultimate ($203,62 \pm 37,41$ MPa) (3M/ESPE, St. Paul, Minnesota, EUA), Vita Enamic ($157,08 \pm 17,66$), e para resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo Saremco Print Crowntec (Straumann, Curitiba, Paraná, Brasil) ($217,15 \pm 25,42$ MPa), Formlabs 3B Permanent Crown (Fesmo, Vila Betânia, São José dos Campos, SP, Brasil) ($127,49 \pm 16,18$ MPa) e Varseo Smile Crown Plus (87.83 ± 18.94 MPa). Saremco Print Crowntec foi a única resina 3D produzida pelo método aditivo que não apresentou valor inferior.

Bora *et al.*¹⁵ encontraram valores de resistência flexural para as resinas 3D produzidas pelo método aditivo C&B MFH (Next Dent, Soesterberg, Holanda) ($97,1 \pm 4.6$ MPa), Ceramic Crown (SprintRay, Mainz, Alemanha) ($117,4 \pm 11,6$ MPa), OnX (SprintRay) ($131,0 \pm 11,6$ MPa), OnX Tough (SprintRay) ($78,0 \pm 8,6$ MPa), resina composta convencional de uso direto Filtek Supreme Ultra (3M/ESPE) ($156,9 \pm 14,8$ MPa), resina 3D produzida pelo método subtrativo Lava Ultimate (3M/ESPE) ($183,6 \pm 17,5$ MPa), cerâmica produzida pelo método subtrativo IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtenstein, Suíça) ($299,3 \pm 26,0$ MPa). Tanaka *et al.*¹⁹ encontraram valores de

resistência à flexão para a resina 3D produzida pelo método subtrativo Grandio Blocs (Voco GmbH) de $172,17 \pm 26,99$ MPa e para a resina 3D impressa produzida pelo método aditivo Viatality (Smart Dent, São Carlos, SP, Brasil) de $88,69 \pm 8,39$ MPa.

Quanto ao módulo de elasticidade dos materiais, Tanaka et al.¹⁹ observaram menores valores para a resina impressa 3D produzida pelo método aditivo ($9,34 \pm 0,73$ GPa) quando comparada à resina 3D produzida pelo método subtrutivo (18 GPa). Esses resultados corroboram com os de Sahin et al.¹⁸ que encontrou os seguintes valores: Vita Enamic ($25,86 \pm 4,78$ GPa), Lava Ultimate ($16,26 \pm 5,01$ GPa) e Cerasmart ($12,48 \pm 4,04$ GPa), Saremco Print Crowntec ($8,21 \pm 1,23$ GPa), VarseoSmile Crown Plus ($4,99 \pm 0,79$ GPa) e Formlabs 3B Permanent Crown ($6,32 \pm 0,67$ GPa). Vita Enamic, Cerasmart são resinas 3D produzidas pelo método subtrutivo e as demais são resinas impressas produzidas pelo método aditivo. Adicionalmente, Borella et al.⁶ revelaram que o módulo de elasticidade das resinas não foi afetado pela espessura de camada impressa (50 e 100 µm) para as resinas VarseoSmile Crown Plus, NextDent C&B MFH, Nanolab 3D (Nanolab, Friburg, Síca) e Resilab 3D Temp (Wilcos do Brasi, Petrópolis, RJ, Brasil).

Trabalhos que avaliam a microdureza das resinas impressas 3D produzidas pelo método aditivo obtém resultados inferiores de dureza para esses materiais quando comparados às resinas 3D produzidas pelo método subtrutivo (fresadas).

Sahin et al.¹⁸ encontraram valores de dureza para as resinas 3D produzidas pelo método subtrutivo Vita Enamic de $252,50 \pm 21,5$ VHN, Lava Ultimate de $116,50 \pm 31,17$ VHN e Cerasmart de $79,43 \pm 14,28$ VHN. Para as resinas 3D impressas pelo método aditivo Saremco Print Crowntec de $40,33 \pm 19,13$ VHN e Formlabs 3B Permanent Crown de $35,11 \pm 4,46$ VHN e Varseo Smile Corwn Plus de $40,33 \pm 19,13$ VHN. Bora et al.¹⁵ obtiveram valores de dureza para as resina 3D impressas produzidas pelo método aditivo C&B MFH (Next Dent) de $14,1 \pm 0,6$ MPa, Ceramic Crown (SprintRay) de $42,5 \pm 5,6$ MPa, OnX (SprintRay) de $29,3 \pm 2,1$ MPa, OnX Tough (SprintRay) de $17,6 \pm 0,8$ MPa, resina composta convencional de uso direto Filtek Supreme Ultra (3M/ESPE) de $91,5 \pm 10,4$ MPa, resina 3D produzida pelo método subtrutivo Lava Ultimate (3M/ESPE) de $114,8 \pm 28,1$ MPa, e cerâmica produzida pelo método subtrutivo IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent) de $574,0 \pm 29,0$ Mpa.

Tanaka et al.¹⁹ encontraram valores de dureza Knoop para a resina 3D produzida pelo método subtrutivo Grandio Blocs (Voco GmbH) de $132,76 \pm 16,32$ KH e para a resina 3D impressa produzida pelo método aditivo Vitality (Smart Dent) de $35,87 \pm 26,99$ KH. Celikel et al.²⁰ investigaram o efeito dos diferentes ciclos de pós-cura (0, 750, 1500, 2250 e 3000) nos valores de microdureza Vickers e a alteração da cor e translucidez de resinas 3D produzidas pelo método aditivo permanente e temporária. A resina permanente VarseoSmile Crown Plus (BEGO) apresentou valores de dureza

maiores que a resina temporária VarseoSmile Temp (BEGO) ($p < 0.001$). Os valores de dureza de ambas as resinas aumentaram de acordo com o tempo de pós-cura.

Mudhaffer *et al.*²¹ investigaram a influência da orientação de impressão e do envelhecimento artificial nos valores de dureza de resinas impressas 3D indicadas para restaurações definitivas e temporárias. Os autores utilizaram ângulos de 0°, 45° e 90° e soluções de envelhecimento artificial de água destilada e saliva artificial por 1, 30 e 90 dias a 37°C. Testaram as resinas impressas 3D produzidas pelo método aditivo VaseoSmile Crown Plus (permanente), Crowntec (permanente), Next Dent C&B MFH (temporária), Dima Print C&B Temp (temporária) (Kulzer, Brasil Kulzer South America Ltda, São Paulo, SP, Brasil), GC temp print (temporária). As resinas 3D produzidas pelo método subtrativo Lava Ultimate e Telio CAD serviram como grupo controle.

Os espécimes impressos a 90° apresentaram maiores valores de dureza ($p < 0,001$) para todas as condições avaliadas no estudo. Não foram observadas diferenças significativas entre os valores de dureza após 90 dias de envelhecimento acelerado entre as duas soluções. A resina Lava Ultimate apresentou os maiores valores de dureza ($12,6 \pm 0,5$ KN/mm² imediato, $13,2 \pm 0,7$ KN/mm² após 24 horas em água destilada, $14,7 \pm 0,6$ KN/mm² após 30 dias em água destilada, $13,2 \pm 0,6$ KN/mm² após 90 dias em água destilada, $13,3 \pm 0,4$ KN/mm² após 24 horas em saliva artificial, $14,1 \pm 1,0$ KN/mm² após 30 dias em saliva artificial, $12,8 \pm 0,3$ KN/mm² após 90 dias em saliva artificial), enquanto os valores de dureza do Telio CAD (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein, Suíça) ($3,6 \pm 0,5$ KN/mm² imediato, $3,2 \pm 0,6$ KN/mm² após 24 horas em água destilada, $3,4 \pm 0,5$ KN/mm² após 30 dias em água destilada, $2,4 \pm 0,9$ KN/mm² após 90 dias em água destilada, $3,6 \pm 0,3$ KN/mm² após 24 horas em saliva artificial, $3,7 \pm 0,1$ KN/mm² após 30 dias em saliva artificial, $1,8 \pm 0,3$ KN/mm² após 90 dias em saliva artificial) foram semelhantes aos das demais resinas. As resinas definitivas apresentaram maiores valores de dureza quando comparadas às temporárias ($p < 0.001$). A redução da dureza em água destilada e saliva artificial foi semelhante para todos os materiais exceto para o Telio CAD que apresentou maior redução em saliva artificial.

Considerando-se os estudos direcionados às alterações de cor e translucidez das resinas 3D produzidas pelo método aditivo, Celikel *et al.*²⁰ não encontraram diferenças significativas para a estabilidade de cor entre as resinas permanente (VarseoSmile Crown Plus) e temporária (VarseoSmile Temp) ($p=0,399$). Quando avaliados os diferentes ciclos de pós-cura foram encontradas diferenças significativas ($p=0,001$). Nesse estudo, não houve alteração de cor clinicamente significativa ($\Delta E_{00} \geq 2,25$) para nenhum dos grupos polimerizados. A resina permanente VarseoSmile Crown Plus apresentou maior translucidez que a resina temporária VarseoSmile Temp ($p < 0,001$).

Tanaka *et al.*¹⁹ em uma análise microestrutural encontraram menores valores de partículas de carga inorgânica para a resina impressa 3D produzidas pelo método aditivo Vitality (Smart Dent) de

15,4% que para a resina 3D produzida pelo método subtrativo Grandio Blocs (Voco) de 24,9%. As partículas encontradas foram à base de silício. Portanto, as resinas impressas 3D produzidas pelo método aditivo apresentam menor estabilidade de cor ($3,73\pm0,36$) que as resinas 3D produzidas pelo método subtrativo ($1,86\pm0,31$) ($p < 0.001$).

Investigações referentes à resistência ao desgaste das resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo e resinas 3D produzidas pelo método subtrativo também têm sido conduzidos. Tanaka *et al.*¹⁹ encontraram valores de profundidade de desgaste de $24,94\pm3,60$ mm para a resina 3D produzida pelo método subtrativo Grandio Blocs (Voco) e de $7,16\pm2,84$ mm para a resina 3D impressa produzida pelo método aditivo Vitality (Smart Dent). Outro estudo de Türksayar *et al.*²² avaliaram a resistência ao desgaste de resinas impressas 3D produzidas pelo método aditivo e subtrativo em coroas de pré-molares implantossuportadas. Compararam as resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo Saremco Print Crowntec (CT) (Next Dent) e VarseoSmile Crown Plus (VS) (BEGO) com resinas 3D produzidas pelo método subtrativo Brilliant Crios (BC) (Coltene do Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil) e Vita Enamic (EM) (Zahnfabrik). As coroas foram escaneadas antes e após o envelhecimento termomecânico (1,2 milhões de ciclos a 50N). As imagens foram sobrepostas no software Geomagic Control X 2020.1 (3D Systems, Morrisville, Carolina do Norte, EUA) para avaliar a profundidade de desgaste. CT e VS apresentaram maior perda de volume ($0,43\pm0,01\text{mm}^3$ e $0,43\pm0,02\text{mm}^3$, respectivamente) e máxima profundidade de desgaste ($0,16\pm0\text{mm}$ e $0,16\pm0,02$, respectivamente) que BC ($0,37\pm0,01\text{mm}^3$ e $0,11\pm0,01\text{mm}$) EN ($0,36\pm0,01\text{mm}^3$ e $0,11\pm0,01\text{mm}$). Os resultados contraditórios encontrados por estes dois estudos podem estar localizados nas diferentes condições às quais os materiais foram submetidos.

Balestra *et al.*¹⁶ em sua revisão sistemática sobre as resinas impressas 3D para restaurações indiretas e próteses permanentes e observaram que grande parte das resinas de impressão 3D estudadas são indicadas para restaurações permanentes e que os autores investigam principalmente as suas propriedades mecânicas, precisão dimensional e adaptação marginal *in vitro*. No entanto, observou-se que as evidências coletadas até o momento sobre os materiais impressos 3D para restaurações permanentes ainda são quantitativamente escassas e de confiabilidade limitada devido à enorme heterogeneidade dos protocolos de pesquisa adotados. Propriedades mecânicas como resistência flexural têm sido estudadas. Eles enfatizam que a quantidade e distribuição das partículas de carga inorgânica apresentam-se reduzida e heterogênea nas resinas impressas 3D produzidas pelo método aditivo. A quantidade de carga dessas resinas é de 30 a 50% em peso, quando das resinas produzidas pelo método subtrativo é de 80 a 85% em peso. Os valores das propriedades de resistência flexural e dureza das resinas impressas 3D produzidas pelo método aditivo são inferiores àquelas produzidas pelo método subtrativo reforçando os estudos supracitados. No que se refere à

translucidez, relataram que essa propriedade óptica varia de acordo com o ângulo de impressão. E ao manchamento, resinas com menor quantidade de partículas de carga inorgânica.

Abas-Coronel *et al.*²³ também realizaram uma revisão sistemática sobre resinas impressas 3D produzidas pelo método aditivo para restaurações temporárias e permanentes. Segundo os autores, em geral, as resinas impressas em 3D produzidas pelo método aditivo apresentaram menores valores de resistência à flexão e microdureza em comparação com outros tipos de resina utilizados na fabricação de restaurações temporárias e permanentes.

Pot *et al.*²⁴ em sua revisão sistemática sobre as propriedades mecânicas de resinas impressas 3D produzidas pelo método aditivo afirmaram que esses materiais não são indicados como primeira opção para restaurações indiretas devido às suas propriedades mecânicas insuficientes se comparados às resinas 3D produzidas pelo método subtrativo, resinas convencionais e cerâmicas.

4 DISCUSSÃO

As resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo apresentam propriedades mecânicas inferiores às resinas compostas convencionais de uso direto e às resinas 3D produzidas pelo método subtrativo. Esse comportamento biomecânico pode ser explicado pela composição das resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo. Elas possuem uma menor quantidade de partículas de carga inorgânica em sua composição (3 a 50% em peso).

As resinas compostas convencionais e as resinas 3D produzidas pelo método subtrutivo apresentam 70% em peso de carga inorgânica^{15,16}. A menor quantidade de partículas de carga inorgânica das resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo se deve à sua necessidade de fluidez, fundamental para a formação das camadas e a fim de evitar a deposição de material no fundo do tanque de impressão¹⁸. Borella *et al.*⁶ observaram os espécimes fraturados à flexão e visualizaram uma mistura inconsistente dos constituintes das resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo. Essa mistura não homogênea serve como potencial de origem das fraturas dos espécimes.

Tanaka *et al.*¹⁹ também encontraram uma maior quantidade de partículas de carga inorgânica com distribuição mais uniforme para as resinas 3D produzidas pelo método subtrutivo (Grandio Blocs Voco) se comparadas às resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo (Vitality, Smart Dent) e afirmaram que suas propriedades são melhores devido a esse fator.

Fatores ligados à técnica de impressão aditiva também devem ser considerados quando se refere às propriedades mecânicas dos materiais. A espessura das camadas impressas, a orientação dessas camadas e a possível formação de espaços vazios entre as camadas que podem ser gerados

durante a fabricação dos espécimes e das restaurações indiretas permanentes^{6,16-18} afetando as propriedades mecânicas dos materiais como resistência flexural e suas indicações clínicas¹⁷.

Quando analisados os menores valores de microdureza apresentados pelas resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo em comparação com as resinas 3D produzidas pelo método subtrativo, observou-se que o rápido mecanismo de formação camada por camada das resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo resulta em uma densidade de cura insuficiente em cada camada adicionada afetando as propriedades mecânicas desses materiais. Além disso, a maior presença de monômeros residuais e o menor grau de conversão apresentado por esses materiais também interferem nas suas propriedades mecânicas¹⁸.

Diferente das resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo, as resinas 3D produzidas pelo método subtrutivo são fabricadas em elevados níveis de temperatura e pressão. Ligações duplas são formadas e a distância entre as moléculas é reduzida, obtendo-se uma estrutura mais densa. Nesse caso existe uma menor formação de monômero residual e um elevado grau de conversão de monômeros, por esse motivo são obtidos melhores valores de microdureza para esses materiais¹⁸.

Celikel *et al.*²⁰ e Abas-Coronel *et al.*²³ afirmaram que quanto maior o número de ciclos de pós-cura, maior o grau de conversão das resinas, maiores os valores de dureza e melhores as propriedades físicas e mecânicas dos materiais. Portanto, as formas de confecção das resinas 3D impressas pelos métodos aditivos e subtrutivos proporcionam diferentes valores nas propriedades de dureza dos materiais. As resinas produzidas pelo método subtrutivo apresentam maiores valores de dureza que as produzidas pelo método aditivo²¹. Além disso, como visto anteriormente o período de pós-polimerização pode influenciar nos valores de dureza das resinas²¹. A quantidade, a morfologia e a distribuição das partículas de carga também podem afetar os valores de dureza das resinas 3D impressas pelo método aditivo²¹.

Quando analisada a estabilidade de cor das resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo, percebe-se que quanto menor a quantidade de partículas de carga inorgânicas que o material apresenta, mais propenso ele é ao manchamento ao vinho tinto. Além disso, quanto menor o grau de conversão do material resinoso, maior é a quantidade de monômeros residuais que são facilmente degradados resultando em descoloração desse material¹⁹.

Balestra *et al.*¹⁶ afirmaram que resinas que apresentam menor quantidade de partículas de carga inorgânica, absorvem mais água, levando à degradação hidrolítica e a uma maior suscetibilidade a manchas. Além disso, segundo os autores, o material 3D impresso produzido pelo método aditivo é mais propenso ao manchamento devido às suas múltiplas camadas. A polimerização incompleta dessas interfaces, juntamente com a presença de microporosidades e monômeros residuais, pode eventualmente levar a uma maior descoloração.

Estudos sobre a resistência e profundidade de desgaste são escassos na literatura^{19,22} e seus resultados apresentaram-se controversos. Tanaka *et al.*¹⁹ encontraram menor profundidade de desgaste para as resinas 3D impressas pelo método aditivo e justificaram pela quantidade de partículas de carga inorgânica presentes na sua composição. Segundo os autores, as resinas 3D produzidas pelo método subtrativo sofrem perda de partículas de carga inorgânica durante o uso e se tornam mais abrasivas ocorrendo assim uma maior profundidade de desgaste da sua estrutura.

Türksayar *et al.*²² observaram maior desgaste para as resinas 3D impressas pelo método aditivo Saremco Print Crowntec (CT) e VarseoSmile Crown Plus (VS) quando comparadas às resinas 3D produzidas pelo método subtrutivo Brilliant Crios (BC) e Vita Enamic (EM). Os autores correlacionaram o maior desgaste de CT e VS devido a uma maior sorção de água que gerou a hidrólise do silano. Também correlacionaram com a degradação sofrida por esses materiais quando submetidos ao envelhecimento termomecânico. A falta de *glaser* e polimento após a fabricação também pode ser um fator que gerou um aumento do desgaste desses materiais. Os resultados contraditórios encontrados por estes estudos podem estar localizados nas diferentes condições às quais os materiais foram submetidos.

Como pode ser visualizado nessa revisão de literatura, existe no presente momento poucos estudos referentes às resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo de uso permanente e esse fato, segundo Balestra *et al.*¹⁶ e Pot *et al.*²⁴, se deve ao fato de que esses materiais são recentes e ainda não existe consenso sobre os padrões exigidos nos estudos *in vitro*. Segundo os autores, mais estudos são requeridos para caracterização e desenvolvimento de novos materiais com melhores propriedades mecânicas e físicas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se as limitações do presente estudo é possível concluir que:

- As resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo apresentam menores valores de resistência flexural e microdureza se comparados às resinas 3D produzidas pelo método subtrutivo, resinas convencionais de uso direto e cerâmicas produzidas pelo método subtrutivo.
- As resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo apresentam menor conteúdo de partículas de carga inorgânica que as resinas 3D produzidas pelo método subtrutivo.
- As resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo apresentam maior quantidade de monômero residual que as resinas 3D produzidas pelo método subtrutivo.

- Materiais resinosos que contém menor quantidade de partículas de carga inorgânicas, menor grau de conversão e maior quantidade de monômeros residuais apresentam menor estabilidade de cor ao longo do tempo se imersas em vinho tinto.
- Ajustes na quantidade e distribuição das partículas de carga inorgânicas por toda matriz das resinas 3D impressas produzidas pelo método aditivo para que elas sejam comparáveis às resinas 3D produzidas pelo método subtrativo no quesito propriedades mecânicas e físicas.

REFERÊNCIAS

1. Siqueira JRCDS, Rodriguez RMM, Campos TMB, Ramos NC, Bottino MA, Tribst JPM. Characterization of Microstructure, Optical Properties, and Mechanical Behavior of a Temporary 3D Printing Resin: Impact of Post-Curing Time. *Materials (Basel)*. 2024 Mar 26;17(7):1496. DOI: 10.3390/ma17071496.
2. Tian Y, Chen C, Xu X, Wang J, Hou X, Li K, Lu X, Shi H, Lee ES, Jiang HB. A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*. 2021 Jul 17;2021:9950131. DOI: 10.1155/2021/9950131.
3. Bozogulları HN, Temizci T. Evaluation of the color stability, stainability, and surface roughness of permanent composite-based milled and 3D printed CAD/CAM restorative materials after thermocycling. *Appl Sci*. 2023; 13(21):11895. DOI: <https://doi.org/10.3390/app132111895>
4. Kalman L, Tribst JPM. Quality assessment and comparison of 3D-printed and milled zirconia anterior crowns and veneers: in vitro pilot study. *Eur J Gen Dent*. 2024;13(2):81-89. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0044-1782183>.
5. Bhargav A, Sanjairaj V, Rosa V, Feng LW, Fuh Yh J. Applications of additive manufacturing in dentistry: A review. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2018 Jul;106(5):2058-2064. DOI: 10.1002/jbm.b.33961.
6. Borella OS, Alvares LAS, Moura GFRMTH, Soares CJ, Zancopé K, Mendonca G, et al. Physical and mechanical properties of four 3D-printed resins at two different thick layers: an in vitro comparative study. *Dent Mater*. 2023;39(8):686-692. DOI: 10.1016/j.dental.2023.06.002
7. Revilla-Leon M., Ozcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *J Prosthodont Implant Esthet Reconstr Dent*. 2019;28(2):146-158. DOI: 10.1111/jopr.12801.
8. Ahmad S, Hasan N, Gupta FA, Nadaf A, Ahmad L, Aqil M, et al. Review on 3D printing in dentistry: conventional to personalized dental care. *J Biomater Sci Polym Ed*. 2022; 33(17):2292-02323. DOI: 10.1080/09205063.2022.2099666.
9. Zhang Z, Li P, Chu F, Shen G. Influence of the three-dimensional printing technique and printing layer thickness on model accuracy. *J Orofac Orthop*. 2019; 80(4):194-204. DOI: 10.1007/s00056-019-00180-y.
10. Saini RS, Gurumurthy V, Quadri AS, Bavabeedu SS, Abdelaziz KM, Okshah A, et al. The flexural strength of 3D-printed provisional restorations fabricated with different resins: A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):66. DOI: 10.1186/s12903-023-03826-x.

11. Sandmair MN, Kleber C, Strobel DA, von See C. AFM analysis of a three-point flexure tested, 3D printing definitive restoration material for dentistry. *J Funct Biomater.* 2023; 14(3):152. DOI: 10.3390/jfb14030152.
12. Mangal U, Seo JY, Yu J, Kwon JS, Choi SH. Incorporating aminated nanodiamonds to improve the mechanical properties of 3D-printed resin-based biomedical appliances. *Nanomaterials (Basel).* 2020; 10(5):827. DOI: 10.3390/nano10050827.
13. Aati S, Akram Z, Ngo H, Fawzy AS. Development of 3D printed resin reinforced with modified ZrO₂ nanoparticles for long-term provisional dental restorations. *Dent Mater.* 2021; 37(6):e360-e374. DOI: 10.1016/j.dental.2021.02.010
14. Aati S, Shrestha B, Fawzy A. Cytotoxicity and antimicrobial efficiency of ZrO₂ nanoparticles reinforced 3D printed resins. *Dent Mater.* 2022; 38(8):1432-1442. DOI: 10.1016/j.dental.2022.06.030.
15. Bora PV, Ahmed AS, Alford A, Pittman K, Thomas V, Lawson NC. Characterization of materials used for 3D printing dental crowns and hybrid prostheses. *J Esthet Restor Dent.* 2024; 36(1):220-230. Doi: 10.1111/jerd.13174.
16. Balestra D, Lowther M, Goracci C, Mandurino M, Cortili S, Paolone G, et al. 3D printed materials for permanent restorations in indirect restorative and prosthetic dentistry: a critical review of the literature. *Materials.* 2024; 17(6):1380. DOI: 10.3390/ma17061380.
17. Prause E, Malgai T, Kocian A, Beuer F, Hey J, Jevnikar P, et al. Mechanical properties of 3D-printed and milled composite resins for definitive restorations: an in vitro comparison of initial strength and fatigue behavior. *J Esthet Restor Dent.* 2024; 36(2):391-401. DOI: 10.1111/jerd.13132.
18. Sahin Z, Ozer NE, Yikici C, Kilicarslan MA. Mechanical characteristics of composite resins produced by additive and subtractive manufacturing. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2023, 31(3):278-285. DOI: 10.1922/EJPRD_2478Sahin08.
19. Tanaka LEB, Rodrigues CS, Grangeiro MTV, Campos TMB, Melo RM. Characterization of 3D printed composite for final dental restorations. *Clin Oral Investig.* 2024; 28(11):617. DOI: 10.1007/s00784-024-06003-8.
20. Celikel P, Sengul F. Investigating the impact of post-curing cycles on surface hardness and color stability in 3D printed resin crowns. *Odontology.* 2025; 113(1):156-162. DOI: 10.1007/s10266-024-00956-8.
21. Mudhaffer S, Althagafi R, Haider J, Satterthwaite J, Silikas N. Effects of printing orientation and artificial ageing on martens hardness and indentation modulus of 3D printed restorative resin materials. *Dent Mater.* 2024; 40(7):1003-1014. DOI: 10.1016/j.dental.2024.05.005.
22. Turksayar AAD, Demirel M, Donmez MB, Olcay EO, Eyuboglu TF, Ozcan M. Comparison of wear and fracture resistance of additively and subtractively manufactured screw-retained, implant-supported crowns. *J Prosthet Dent.* 2023; 132(1):154-164. DOI: 10.1016/j.prosdent.2023.06.017.
23. Abas-Coronel C, Urdiales DD, Arias MVB, Cordova AK, Medina MS, Torres WB. Flexural strength, fatigue behavior, and microhardness of three-dimensional (3D) - printed resin material for indirect restorations: a systematic review. *Materials.* 2025; 18(3):556. DOI: 10.3390/ma18030556.
24. Pot GJ, Van Overschelde PA, Keulemans F, Kleverlaan CJ, Tribst JPM. Mechanical Properties of Additive-Manufactured Composite-Based Resins for Permanent Indirect Restorations: A Scoping Review. *Materials (Basel).* 2024 Aug 8;17(16):3951. DOI: 10.3390/ma17163951.