

Avaliação das propriedades mecânicas da resina de impressão 3D para uso em contenções ortodônticas removíveis

Evaluation of mechanical properties of 3D printing resin for use in removable orthodontic retainers

Evaluación de propiedades mecánicas de resina de impresión 3D para uso en retenedores de ortodoncia removibles

Camila de Pretes Pegoraro 

Liliane Siqueira de Moraes 

Plinio Mendes Senna 

Endereço para correspondência:

Camila de Pretes Pegoraro
Rua Conselheiro Zenha, 40
Tijuca
20550-090 - Rio de Janeiro - Rio de Janeiro - Brasil
E-mail: camilapegoraro@hotmail.com

RECEBIDO: 25.09.2023

MODIFICADO: 02.10.2023

ACEITO: 03.11.2023

RESUMO

Ao término de um tratamento ortodôntico, torna-se imprescindível que o paciente utilize uma contenção ortodôntica, a fim de assegurar a estabilidade dos elementos dentários que foram submetidos a movimentações durante o tratamento. Uma alternativa são as contenções de resina fabricadas por meio de tecnologia de impressão 3D, representando uma alternativa válida de contenção removível. O objetivo deste estudo in vitro foi investigar as resinas impressas para fins ortodônticos e comparar com materiais tradicionalmente utilizados para confecção de contenções removíveis. Corpos de prova foram fabricados utilizando resina de impressão 3D (3D) e placa de cristal a vácuo (PC). As propriedades físicas e mecânicas de erro percentual e resistência à flexão antes e após o envelhecimento térmico dos materiais foram avaliadas. Os dados foram analisados usando análise de variância de duas vias e teste t de Student. A precisão de impressão do grupo 3D não apresentou diferença estatística no comprimento, largura e altura. A resistência à flexão antes e após o envelhecimento térmico do grupo 3D foi

maior do que a do grupo PC ($P < 0.05$). A resina fabricada por meio de impressão 3D demonstrou notáveis propriedades físicas e mecânicas, o que a torna uma escolha apropriada para a produção de contenções ortodônticas impressas para uso de longa duração após tratamento ortodôntico.

PALAVRAS-CHAVE: Impressão tridimensional. Aparelhos ortodônticos removíveis. Resistência à flexão.

ABSTRACT

At the end of an orthodontic treatment, it is essential that the patient wears an orthodontic retainer, in order to ensure the stability of the dental elements that were subjected to movement during the treatment. An alternative is resin retainers manufactured using 3D printing technology, representing a valid removable retainer alternative. The objective of this in vitro study was to investigate printed resins for orthodontic purposes and compare them with materials traditionally used to manufacture removable retainers. Specimens were manufactured using 3D printing resin (3D) and vacuum crystal plate (PC). The physical and mechanical properties of percentage error and flexural strength before and after thermal aging of the materials were evaluated. Data were analyzed using two-way analysis of variance and Student's t-test. The printing accuracy of the 3D group showed no statistical difference in length, width and height. The flexural strength before and after thermal aging of the 3D group was higher than that of the PC group ($P < 0.05$). Resin manufactured through 3D printing has demonstrated remarkable physical and mechanical properties, making it an appropriate choice for producing printed orthodontic retainers for long-term use after orthodontic treatment.

KEYWORDS: Printing, three-dimensional. Orthodontic appliances, removable. Flexural strength.

RESUMEN

Al finalizar un tratamiento de ortodoncia, es imprescindible el uso de retenedores de ortodoncia con el fin de asegurar la estabilidad de los elementos dentarios que estuvieron sometidos a movimientos durante todo el tratamiento. Una alternativa son los retenedores de resina fabricados mediante tecnología de impresión 3D, que representan una alternativa válida a los retenedores removibles. El objetivo de este estudio in vitro fue investigar resinas impresas con fines de ortodoncia y compararlas con materiales ya utilizados para fabricar retenedores removibles. Las muestras se fabricaron utilizando resina de impresión 3D (3D) y una placa de cristal al vacío (PC). Se evaluaron el porcentaje de error y las propiedades de resistencia a la flexión antes y después del envejecimiento térmico de los materiales. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza bidireccional y prueba t de Student. La precisión de impresión del grupo 3D no mostró diferencias estadísticas en longitud, ancho y grosor. La resistencia a la flexión antes del envejecimiento térmico del grupo 3D fue mayor que la del grupo PC ($P < 0.05$) y después del envejecimiento térmico la resistencia a la flexión del grupo 3D también fue mayor ($P < 0.001$) que la del PC. La resina fabricada mediante impresión 3D ha demostrado propiedades físicas y mecánicas notables, lo que la convierte en una opción adecuada para la producción de retenedores de ortodoncia impresos para uso a largo plazo después del tratamiento de ortodoncia.

PALABRAS CLAVE: Impresión tridimensional. Aparatos ortodónticos removibles. Resistencia flexional.

INTRODUÇÃO

Ao finalizar um tratamento ortodôntico é essencial que o paciente utilize contenção ortodôntica, a fim de manter a estabilidade dos elementos dentários que sofreram movimentações ao longo do tratamento. Desta forma, os dentes se mantêm nas novas posições obtidas, evitando recidivas¹. A recidiva ao final do tratamento pode estar associada a vários aspectos, incluindo: fatores periodontais, oclusais, pressão dos tecidos moles orais e crescimento².

As contenções mais indicadas na ortodontia são as fixas, que são coladas na face lingual ou palatina dos dentes, ou as contenções removíveis, que podem ser retiradas pelo paciente quando for extremamente necessário². A opção de qual contenção ortodôntica será usada dependerá das necessidades individuais de cada paciente³.

Independentemente do tipo de contenção escolhida, é importante seguir as orientações do ortodontista quanto à sua utilização e manutenção. Mas apesar disso, já está bem estabelecido que a contenção removível oferece mais conforto e facilidade na higienização, em contrapartida, exige maior disciplina do paciente para usá-la⁴⁻⁵.

Além do conforto e facilidade na higienização, os pacientes também têm valorizado cada vez mais dispositivos dentários que são estéticos e discretos, impulsionando o desenvolvimento desses aparatos que atendam a essas expectativas. No entanto, é imprescindível que estes dispositivos sejam eficientes em suas funções⁶.

As contenções formadas a vácuo são transparentes, entregando estética para os pacientes que buscam essa característica. Além disso, são eficientes e funcionais, evitando recidivas após o tratamento ortodôntico, e são de fácil confecção⁷⁻⁹. A contenção a vácuo pode ser fabricada por uma plastificadora que termo amolece uma placa de polietileno tereftalato, que será adaptada por pressão negativa ao modelo da arcada¹⁰. Entretanto, há relato de fratura desse material durante o uso, em alguns casos¹¹.

Outra possibilidade de contenção removível e estética são as confeccionadas por meio da manufatura aditiva (MA), ou seja, por tecnologia de impressão 3D. Na Odontologia, o método mais consagrado é a impressão do modelo 3D, seguida da confecção da contenção a vácuo da forma convencional, anteriormente descrita¹²⁻¹³. Entretanto, é possível uma opção

mais rápida dentro dessa tecnologia, com a fabricação direta das contenções por impressão 3D¹³⁻¹⁴.

Essa possibilidade de impressão é uma forma mais recente e avançada na Ortodontia. Esse método de fabricação tem como primeira etapa o escaneamento da dentição do paciente, para criar um modelo virtual 3D. Em seguida, a contenção é projetada virtualmente, para que esse projeto possa ser impresso¹⁵. Os dispositivos impressos em 3D têm maior precisão, confiabilidade e eficiência, quando comparados com os manufaturados de forma convencional¹⁶. Entretanto, há poucas evidências disponíveis sobre as propriedades mecânicas das contenções ortodônticas impressas em 3D¹⁴.

Desta forma, esta pesquisa teve como objetivo investigar as propriedades físicas e mecânicas das resinas impressas para fins ortodônticos e compará-las, por meio de testes laboratoriais *in vitro*, com placas de cristal. A intenção foi obter dados científicos para que seja possível responder à pergunta: é possível a utilização de dispositivos oclusais, como a contenção ortodôntica, confeccionados com resinas de impressão 3D? A hipótese nula é que não haverá diferença entre os materiais avaliados quanto às propriedades físicas e mecânicas de erro percentual e resistência a flexão antes e após o envelhecimento térmico dos materiais.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o grupo de impressão 3D (3D) foi usada a resina priZma 3D Bio Splint (Makertech Labs, Tatuí, SP, Brasil), lote 177022 com coloração incolor. A Placa de Cristal (PC) de 2 mm Bio-art (Bio-art Equipamentos Odontológicos LTDA, São Carlos, SP, Brasil), cuja composição da placa é o polietileno tereftalato, lote 240406, foi o grupo controle.

Produção das Amostras Impressas

Foram projetados corpos de prova virtuais em barra 25 mm x 2 mm x 2 mm no software Tinkercad (Autodesk), conforme as especificações da International Standards Organization (ISO) 10477:2020 para o teste de resistência a flexão e erro percentual. O projeto foi salvo no formato Standard Tessellation Language (STL), para que no software (Halot Box software, V3.5.1, Creality Co., Shenzhen, China) da impressora

Creality fosse posicionado e adicionado os suportes na base dos corpos de prova. Após, foi executada a impressão dos corpos de prova na impressora 3D LCD (Halot One Cl 60, Creality Co., Shenzhen, China) com um projetor que emite laser LED de $\lambda = 405$ nm. A posição de impressão dos espécimes foi de 0° . A impressão aconteceu em temperatura ambiente, a espessura de camada foi configurada para 0.05 mm, o tempo de exposição da primeira camada de 70 s, o restante das camadas foi de 6.5 s. Os corpos de prova já impressos passaram por um tratamento em um recipiente com álcool isopropílico por 4 min em movimento, para que resíduos de monômeros não reagentes fossem removidos. Ao término os espécimes foram secos com jato de ar e iniciou a pós-cura em câmara de luz UV (UW-02, Creality Co., Shenzhen, China), através de um LED com 24 esferas por 20 min (60W, $\lambda =$ ca. 385–405 nm).

Produção das Amostras a Vácuo

Uma placa de cristal de 2 mm Bioart (Bio-art Equipamentos Odontológicos LTDA, São Carlos, SP, Brasil) composta de polietileno tereftalato foi submetida a cortes em barra nas dimensões 25 mm x 2 mm x 2 mm utilizando uma cortadora de precisão (OCP 100, Odeme Dental Research, Luzerna, SC, Brasil).

Acabamento e Polimento das Amostras

Os suportes das amostras impressas foram removidos e em seguida essa superfície foi submetida ao acabamento e polimento. O grupo da amostra em cristal também foi submetida a esse processo em uma única superfície de cada amostra. Assim, foi utilizado à politriz (Aropol-VV, Arotec S.A. Ind. E COM., Cotia, SP, Brasil) com lixa d'água 220, 400 e 600 para acabamento. Foram utilizados polidores de acrílico para peça de mão, com granulação grossa, média e fina (American Burrs, Palhoça, SC, Brasil), escova de pano e algodão (American Burrs, Palhoça, SC, Brasil), no motor elétrico, com rotação por minuto (rpm) de 6.000.

Após a finalização de todos os espécimes, as seguintes variáveis dependentes foram investigadas: erro percentual e resistência à flexão.

Estudo Piloto e Cálculo Amostral

Para executar o cálculo amostral, 5 corpos de prova foram usados para um estudo piloto para simu-

lar a resistência à flexão. Os dois testes seguiram as especificações da ISO 10477:2020. Os grupos testados foram: priZma 3D Bio Splint Makertech e placa de cristal Bioart. Nesse estudo foi usado a média e desvio padrão dos grupos para o cálculo amostral, ilustrado na Figura 1, empregando o software G*Power (3.1.9.4, Universidade de Kiel, Alemanha), que indicou o uso de 4 amostras em cada grupo, para o teste de resistência a flexão.

Para o cálculo da resistência à flexão, a placa de cristal apresentou média da força máxima de 17.63 N e desvio padrão 2.61, o grupo priZma 3D Bio Splint Makertech apresentou média de 26.08 N e desvio padrão 2.32.

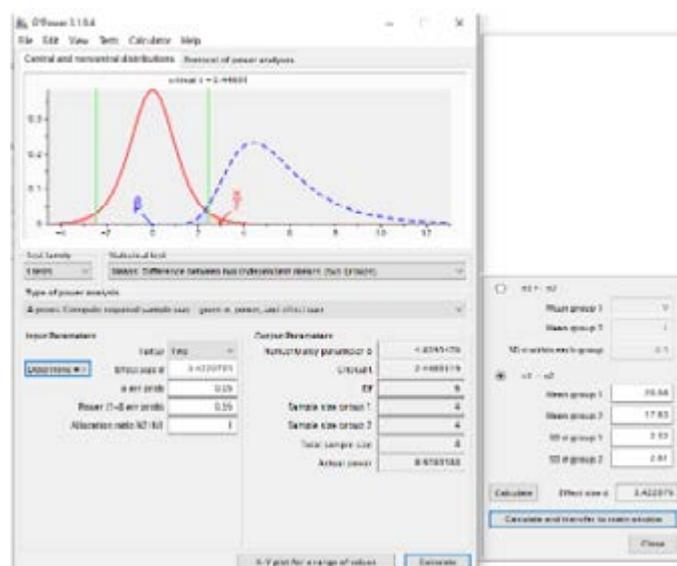


Figura 1 - Cálculo amostral no software G*Power representando o cálculo da resistência à flexão.

Entretanto, esses números foram arredondados para 5 amostras, na resistência à flexão, sendo esses números convenientes para não haver desperdício de material e a confecção de um número mínimo. Além disso, foi baseado em outro estudo relacionado à impressão 3D, que utilizou esse número de amostras no teste citado¹⁷.

Erro Percentual

Foi mensurado o comprimento, largura e espessura de 10 corpos de prova do grupo impresso, nas extremidades e no meio do corpo de prova (21). Nessa medição foi utilizado um paquímetro digital (Digital Caliper; Zaas Precision, Piracicaba, SP, Brasil). A precisão da impressão dos espécimes foi calculada através do erro percentual, a partir da comparação das médias

estipuladas nos modelos virtuais criados no software e das medições dos corpos de prova após a impressão. Assim, foi obtido o erro percentual médio das amostras, sendo esse a diferença em porcentagem da medida que os corpos de prova apresentaram após a impressão e o que deveriam apresentar, de acordo com o projeto criado no software.

Resistência à Flexão

O ensaio de resistência à flexão de três pontos foi de acordo com a norma ISO 10477:2020. O teste foi executado na máquina de teste universal (EMIC DL-2000MF, Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda., São José dos Pinhais, PR, Brasil), calibrada com uma velocidade de 1,0 mm/min e capacidade para até 50N de carga. O aparelho possui duas hastes paralelas com 2 mm de diâmetro, com vão de 20 mm entre o centro das hastes, centralizada ao vão. Uma terceira haste está perpendicular, com 2 mm de diâmetro. Assim, as três hastes levam um carregamento de três pontos ao corpo de prova, até sua ruptura ($n = 5$). Ao final do teste, o software (TESC versão 1.8, EMIC) fornece os valores de força máxima e deformação. A resistência à flexão, σ , foi calculada em megapascals (Mpa) através da fórmula:

$$\sigma = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

Onde:

F é a carga máxima aplicada, em newtons;

l é a distância, em milímetros, entre os suportes, ou seja, 20 mm;

b é a largura do corpo de prova, em milímetros, ou seja, 2 mm;

h é a altura do corpo de prova, em milímetros, ou seja, 2 mm.

Procedimento de Envelhecimento - Ciclagem Térmica

Os espécimes foram envelhecidos em uma máquina de termociclagem (OMC 350 TS, Odeme Dental Research, Luzerna, SC, Brasil), com o objetivo de simular mudanças de temperatura intraoral no período de três meses ($n = 5$). Foram realizados 250 ciclos de ciclagem térmica, com banhos frio, intermediário e quente, sendo esses mantidos a 5°C, 37°C e 65°C, com tempo de permanência de 1 min em cada cuba¹⁸.

Novas mensurações foram feitas nos corpos

de prova envelhecidos, para calcular a estabilidade dimensional. Foi executado o teste de resistência à flexão de 3 pontos na máquina universal de ensaios (EMIC 2000, Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda., São José dos Pinhais, PR, Brasil), após o envelhecimento térmico.

Análise Estatística

Os resultados foram analisados no ANOVA 2 way, com teste post hoc de Tukey e Test T Student, utilizando IBM SPSS Statistics 20 (IBM, Armonk, NY, EUA). O nível de significância dos testes estatísticos foi de 0.05.

RESULTADOS

A normalidade das médias dos grupos foi aferida através do teste Shapiro-wilk. Os 3 grupos apresentaram uma distribuição normal ($P > 0.05$) em todos os testes.

Os valores da média e desvio padrão do erro percentual dos grupos 3D são mostrados na Figura 2. A precisão de impressão dos corpos de prova do grupo 3D não apresentou diferenças estatísticas no comprimento, altura e largura com as medidas dos espécimes projetadas no software, onde $P = 0.272$; $P = 1.00$; $P = 0.984$ respectivamente.

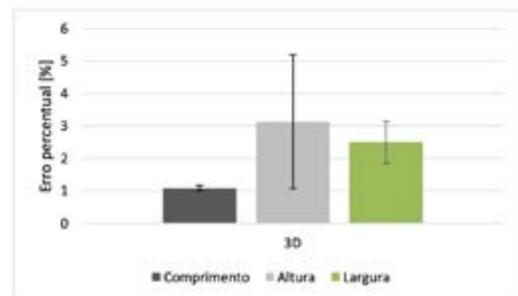


Figura 2 - Gráfico ilustrando o erro percentual (%) do grupo impresso em 3D (3D), sem diferença estatística no Teste t de Student entre as medidas dos corpos de prova e os valores estipulados para os espécimes apresentarem: dimensão de 25 mm de comprimento, 2 mm de altura e largura, de acordo a ISO 10477 ($P \leq 0.05$).

Os valores da média e desvio padrão da resistência à flexão dos grupos 3D e PC são mostrados na Figura 3. Os valores de resistência à flexão antes do envelhecimento térmico para o grupo 3D apresentou maior média do que o grupo PC ($P < 0.05$). Os valores de resistência à flexão após o envelhecimento térmico para o grupo 3D foram significativamente maiores ($P < 0.001$) do que para o grupo PC. No entanto, o grupo 3D exibiu aumento ($P < 0.05$) nos valores de resistência à flexão após o envelhecimento, mas não houve diferença na resistência à flexão no grupo PC ($P > 0.05$) antes e após a termociclagem.

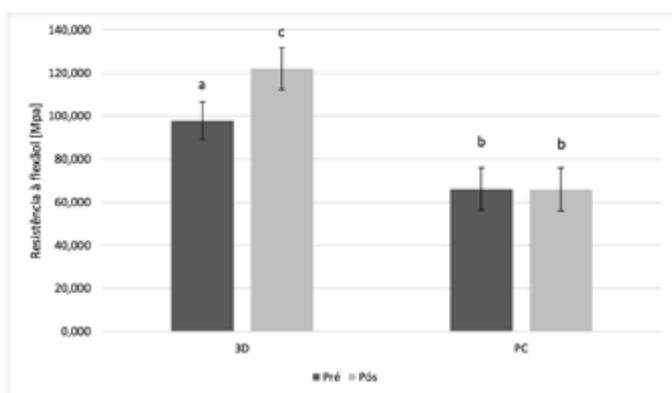


Figura 3 - Gráfico ilustrando a resistência à flexão (MPa) dos diferentes materiais de contenção em grupos impressos em 3D (3D) e placa de cristal (PC) antes (pré) e depois (pós) do envelhecimento por termociclagem. Diferentes letras denotam diferença estatística entre os grupos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0.05$).

Os valores da média e desvio padrão da deformação dos grupos 3D e PC são mostrados na Figura 4. Os valores de deformação antes do envelhecimento térmico para o grupo 3D foram maiores do que o grupo PC ($P < 0.05$). Os grupos 3D e PC não apresentaram diferença estatística na deformação antes e após a termociclagem.

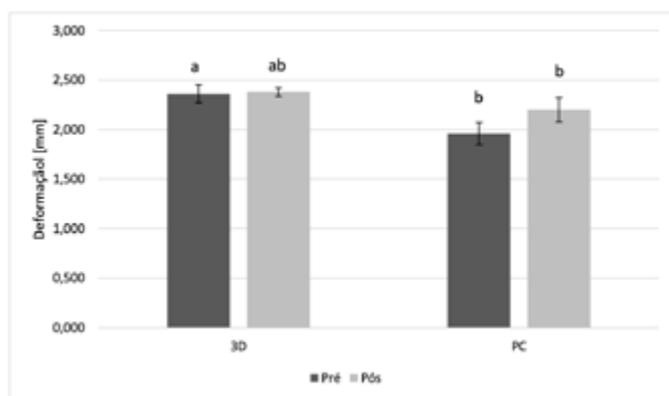


Figura 4 - Gráfico ilustrando a deformação (mm) dos diferentes materiais de contenção em grupos impressos em 3D (3D) e placa de cristal (PC) antes (pré) e depois (pós) do envelhecimento por termociclagem. Diferentes letras denotam diferença estatística entre os grupos de acordo com o teste de Tukey ($P \leq 0.05$).

DISCUSSÃO

A hipótese nula foi rejeitada, com base na análise estatística dos resultados, pois a resina de impressão 3D usada para confecção de contenções exibiu propriedades mecânicas e físicas diferente antes e após o envelhecimento, quando comparada com a placa de cristal.

Ao finalizar o tratamento ortodôntico, é necessária a utilização de contenção para manter a eficácia do tratamento. Embora muitos tipos de contenções estejam disponíveis, a placa de Hawley, a contenção fixa e a contenção confeccionada a vácuo, são as contenções mais comumente utilizadas³.

A eficácia clínica das contenções de Hawley e as formadas a vácuo foram comparadas, de 35 pacientes pós-tratamento ortodôntico. Esse estudo concluiu que as duas contenções tiveram eficácia clínica semelhante. Os casos tratados foram de expansão transversal e o uso da contenção foi acompanhada por um período de 24 meses. Foi analisado o ajuste, fala, higiene oral, durabilidade e conforto dos pacientes. Os indivíduos perceberam as contenções a vácuo como significativamente mais agradáveis esteticamente, em comparação com as contenções de Hawley¹⁹.

Com o passar do tempo, novos dispositivos oclusais começaram a ser confeccionado por manufa-

tura aditiva, sendo um desses dispositivos a contenção ortodôntica.

Um dos primeiros estudos a fabricar uma contenção impressa foi em 2014²⁰. Em 2017, os mesmos autores²¹ avaliaram a precisão das contenções impressas em 3D em comparação com contenções formadas a vácuo, de 10 pacientes de forma pareada, onde 2 avaliadores fizeram medidas lineares nas regiões: largura intercaninos, largura interpré-molares (primeiros e segundos pré-molares), largura intermolar, comprimento canino-linha média (ambos os lados) e comprimento canino-molar (ambos os lados), usando paquímetro digital. Foi concluído que o novo método para fabricar contenção impressa em 3D é preciso e confiável em comparação com a contenção a vácuo.

No presente estudo, foi investigado o erro percentual do material impresso. As médias do comprimento, altura e largura dos corpos de prova impressos não apresentaram diferenças estatísticas ao valor das medidas do projeto virtual dos corpos de prova que foram criados no software. Esse resultado aponta que os objetos impressos apresentam boa precisão, permanecendo com medidas equivalentes aos objetos projetados no software.

Investigaram a precisão de impressão de resinas impressas em 3D. Nesse estudo, o comprimento, a altura e a largura do corpo de prova apresentaram taxas de erro estatisticamente significativas. Apesar desse resultado, o estudo apontou que essa taxa de erro ainda assim é aceitável após a impressão dos espécimes²².

A resistência à flexão dos materiais investigados no presente estudo, apresentou valores superiores ao mínimo estipulado pela ISO10477, sendo esse valor mínimo de 50 MPa. Assim, todos os materiais testados foram considerados adequados para serem utilizados como dispositivos intraorais.

A resistência à flexão da resina de impressão 3D antes e após o envelhecimento térmico foi superior ao grupo PC.

Testaram a influência da espessura das contenções de resina impressa em sua resistência à flexão de 3 pontos sob condições de carga. Os corpos de prova apresentavam forma de barras cuboides com largura de 3 mm, comprimento de 30 mm e diferentes espessuras 0.8 mm; 1 mm e 1.2 mm. Foi demonstrado que diferenças na espessura das amostras afetaram sua propriedade de resistência. A resistência à flexão de amostras de 1 mm de espessura foi mais de duas

vezes menor do que a resistência à flexão de amostras de 1.2 mm de espessura. Além disso, as amostras com espessura de 1 mm foram várias vezes menores que as resistência à flexão das amostras de 0.8 mm de espessura. Isso sugere que tanto as contenções mais espessas de 1.2 mm quanto as mais finas de 0.8 mm podem ter melhor resistência à flexão do que os retentores de 1.0 mm. As propriedades mecânicas das contenções impressas em 3D mostram que elas podem ser uma alternativa, e o procedimento de confecção de novas contenções é muito simples e pode ser realizado em pouco tempo devido aos modelos digitais existentes. Eles também são baratos e rápidos de reproduzir em caso de quebra²³.

A deformação é a primeira indicação de elasticidade melhorada, pois se deve ao fato de ser contabilizado o deslocamento que o material sofreu após o contato com a haste de carga no teste de flexão (30). O grupo 3D apresentou a maior deformação antes e após o envelhecimento térmico com diferença estatística. A elasticidade é um parâmetro muito importante para contenções²³.

Novos estudos precisam ser realizados testando a resistência à flexão e erro percentual, pois nenhum outro estudo *in vitro* investigou os materiais de impressão 3D para contenções e comparou com materiais convencionais.

Estudos futuros são necessários para avaliar a estabilidade de cor, grau de conversão, protocolo de pós-cura, adesão microbiana e outros testes mecânicos para os materiais de resina impressa em comparação com os materiais já usados para contenções removíveis.

CONCLUSÃO

Dentro das limitações deste estudo podemos concluir que: a precisão do grupo 3D foi excelente, assim como a resistência à flexão antes e após o envelhecimento térmico.

Portanto, o grupo de resinas impressas em 3D fotopolimerizada, confeccionada por tecnologia de impressão LCD, exibiu propriedades mecânicas excelentes, tornando-as uma opção adequada para a confecção de contenções ortodônticas impressas para pós-tratamentos ortodônticos de longo prazo.

REFERÊNCIAS

1. Bello RGD. Tipos de contenções ortodônticas e seu tempo de uso. *Rev Cient Multidiscip Nucleo Conhecimento*. 2019;5:152-61.
2. Littlewood SJ, Millett DT, Doubleday B, Bearn DR, Worthington H V. Retention procedures for stabilising tooth position after treatment with orthodontic braces. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016;2016(1):CD002283.
3. Sandhya V, Arun AV, Mahendra S, Chandrashekar BS, Shetty B, Mahesh CM, et al. Retention protocols and use of vacuum-formed retainers among specialist orthodontists in India. *J World Fed Orthod*. 2019;8(2):64-7.
4. Eroglu AK, Baka ZM, Arslan U. Comparative evaluation of salivary microbial levels and periodontal status of patients wearing fixed and removable orthodontic retainers. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2019;156(2):186-92.
5. Årtun J, Spadafora AT, Shapiro PA. A 3-year follow-up study of various types of orthodontic canine-to-canine retainers. *Eur J Orthod*. 1997;19(5):501-9.
6. Jóias RP, Sanders D, Cepera F, Paranhos LR, Torres FC. Aparelhos ortodônticos sequenciais removíveis - considerações gerais e apresentação de caso clínico. *RFO*. 2011;16(3):332-6.
7. Moslemzadeh SH, Sohrabi A, Rafighi A, Ghojzadeh M, Rahmanian S. Comparison of survival time of Hawley and Vacuum-formed retainers in orthodontic patients - a randomized clinical trial. *Adv Biosci Clin Med*. 2017;5(1):7-15.
8. Demir A, Babacan H, Nalcaci R, Topcuoglu T. Comparison of retention characteristics of Essix and Hawley retainers. *Korean J Orthod*. 2012;42(5):255-62.
9. Rowland H, Hichens L, Williams A, Hills D, Killingback N, Ewings P, et al. The effectiveness of Hawley and vacuum-formed retainers: a single-center randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;132(6):730-7.
10. Meade MJ, Millett DT. Vacuum-formed retainers: An overview. *Dent Update*. 2015;42(1):24-6.
11. Ashari A, Xian L, Mohamed AMFS, Wahab RMA, Kit YC, Tata MD, et al. One-year comparative assessment of retention of arch width increases between modified vacuum-formed and Hawley retainers: A multicenter randomized clinical trial. *Angle Orthod*. 2022;92(2):197-203.
12. Kenning KB, Risinger DC, English JD, Cozad BE, Harris LM, Ontiveros JC, et al. Evaluation of the dimensional accuracy of thermoformed appliances taken from 3D printed models with varied shell thicknesses: an in vitro study. *Int Orthod*. 2021;19(1):137-46.
13. Kravitz ND, Groth C, Shannon T. CAD/CAM software for three-dimensional printing. *J Clin Orthod*. 2018;52(1):22-7.
14. Cole D, Bencharit S, Carrico CK, Arias A, Tüfekçi E. Evaluation of fit for 3D-printed retainers compared with thermoform retainers. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2019;155(4):592-9.
15. Bartkowiak T, Walkowiak-Śliziuk A. 3D printing technology in orthodontics - Review of current applications. *J Stomatol*. 2018;71(4):356-64.
16. Harikrishnan S, Subramanian AK. 3D Printing in orthodontics: a narrative review. 2023;15(1):15-27.
17. Wesemann C, Spies BC, Sterzenbach G, Beuer F, Kohal R, Wemken G, et al. Polymers for conventional, subtractive, and additive manufacturing of occlusal devices differ in hardness and flexural properties but not in wear resistance. *Dent Mater*. 2021;37(3):432-42.
18. Botega DM, Sanchez JLL, Mesquita MF, Henriques GEP, Consani RLX. Effects of thermocycling on the tensile bond strength of three permanent soft denture liners. *J Prosthodont*. 2008;17(7):550-4.
19. Ashari A, Nik Mustapha NM, Yuen JJX, Saw ZK, Lau MN, Xian L, et al. A two-year comparative assessment of retention of arch width increases between modified vacuum-formed and Hawley retainers: a multi-center randomized clinical trial. *Prog Orthod*. 2022;23(1):40.
20. Nasef AA, El-Beialy AR, Mostafa YA. Virtual techniques for designing and fabricating a retainer. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2014;146(3):394-8.
21. Nasef AA, El-Beialy AR, Eid FHK, Mostafa YA. Accuracy of orthodontic 3D printed retainers versus thermoformed retainers. *Open J Med Imaging*. 2017;7(4):169-79.
22. Al-Qarni FD, Gad MM. Printing accuracy and flexural properties of different 3d-printed denture base resins. *Materials*. 2022;15(7):2410.
23. Firlej M, Zaborowicz K, Zaborowicz M, Firlej E, Domagała I, Pieniak D, et al. Mechanical properties of 3d printed orthodontic retainers. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(9):5775.