

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-graduação em Odontologia

Anderson Sérgio Martins

**EFEITO DA ORIENTAÇÃO DE IMPRESSÃO E DO ENVELHECIMENTO NA
RESISTÊNCIA A FLEXÃO, MICRODUREZA E RUGOSIDADE SUPERFICIAL DE
RESINA DE IMPRESSÃO 3D PARA RESTAURAÇÕES PROVISÓRIAS**

Belo Horizonte

2023

Anderson Sérgio Martins

**EFEITO DA ORIENTAÇÃO DE IMPRESSÃO E DO ENVELHECIMENTO NA
RESISTÊNCIA A FLEXÃO, MICRODUREZA E RUGOSIDADE SUPERFICIAL DE
RESINA DE IMPRESSÃO 3D PARA RESTAURAÇÕES PROVISÓRIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia, Área de Concentração em Implantodontia.

Linha de pesquisa: Propriedades biomecânicas, físico-químicas e biocompatibilidade dos biomateriais e materiais odontológicos.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius de Magalhães Barros

Belo Horizonte

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

M386e Martins, Anderson Sérgio
Efeito da orientação de impressão e do envelhecimento na resistência a flexão, microdureza e rugosidade superficial de resina de impressão 3D para restaurações provisórias / Anderson Sérgio Martins. Belo Horizonte, 2023.
55 f. : il.

Orientador: Vinícius de Magalhães Barros
Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
Programa de Pós-Graduação em Odontologia

1. Restauração dentária temporária. 2. Resinas dentárias - Envelhecimento. 3. Impressão Tridimensional. 4. Sistemas de indicação visual tridimensional. 5. Propriedades de superfície. 6. Testes de dureza. 7. Técnicas In Vitro. I. Barros, Vinícius de Magalhães. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 616.314-08

Ficha catalográfica elaborada por Daniela Luzia da Silva Gomes - CRB 6/2505

Anderson Sérgio Martins

**EFEITO DA ORIENTAÇÃO DE IMPRESSÃO E DO ENVELHECIMENTO NA
RESISTÊNCIA A FLEXÃO, MICRODUREZA E RUGOSIDADE SUPERFICIAL DE
RESINA DE IMPRESSÃO 3D PARA RESTAURAÇÕES PROVISÓRIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia. Área de Concentração: Implantodontia.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA:

- 1- Prof. Dr. Frederico Santos Lages – UFMG
- 2- Prof. Dr. Paulo Isaias Seraidarian – PUC Minas
- 3- Prof. Dr. Vinícius de Magalhães Barros – PUC Minas

DATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA: 12 de julho de 2023

A dissertação, nesta identificada, foi aprovada pela Banca Examinadora

Prof. Dr. Vinícius de Magalhães Barros
Orientador

Prof. Dr. Rodrigo Villamarim Soares
**Coordenador do Programa de Pós-graduação
em Odontologia**

*Família, amor maior. Ju, Gabi e Amandinha,
sem o apoio incondicional de vocês, não teria chegado até aqui.
Dedico também esse trabalho à memória do meu querido pai,
que nos deixou há um ano.
Deu tudo certo papai, essa conquista é nossa!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar meus caminhos.

À minha família pelo incentivo inesgotável.

Ao Professor Dr. Vinícius de Magalhães Barros, que brilhantemente me orientou em cada etapa deste trabalho.

Aos Professores Dr. Alberto Nogueira da Gama Antunes e Dr. Frederico Santos Lages, essenciais para a execução das pesquisas.

Aos colegas Nádia Vieira Queiroz e Juliano da Côte pela atenção e importante colaboração.

Aos colegas do Mestrado e a todos os professores, fundamentais para meu crescimento.

Aos funcionários da PUC Minas, aos pacientes e a todos que participaram dessa jornada, muito obrigado!

RESUMO

O objetivo deste estudo *in vitro* foi avaliar os efeitos da orientação de impressão, do envelhecimento por termociclagem e da sua interação em algumas propriedades mecânicas e características superficiais de uma resina para restaurações temporárias, obtidas por impressão 3D com tecnologia DLP/LCD. Foram produzidas 60 barras (4x2x10 mm) para cada grupo experimental (n=10), desenhadas no software Meshmixer e impressas tridimensionalmente em 3 diferentes orientações de impressão (0, 45 e 90 graus de inclinação). Dez barras de cada grupo foram submetidas ao teste de flexão em 3 pontos, sem qualquer período de envelhecimento, em máquina de ensaio universal. Em seguida a rugosidade superficial e a microdureza foram aferidas. Outras dez barras de cada grupo foram envelhecidas por termociclagem em uma máquina de simulação de ciclos térmicos modelo MSCT-3 (Marcelo Nucci ME, São Carlos, Brasil). A termociclagem foi realizada de acordo com o seguinte protocolo: 6.000 ciclos de 3 voltas consecutivas cada: 20 segundos (tempo de permanência) a 5° C; 5 segundos (tempo de transferência) à temperatura ambiente (23° C); e 20 segundos (tempo de permanência) a 55° C. Em seguida foram submetidas aos mesmos testes. Nos testes sem envelhecimento, a resistência a flexão do grupo de 0° (236,20 ±29,73) foi significativamente maior do que os de 45° (155,80±36,19) e 90° (138,70±48,20). A rugosidade superficial do grupo de 0° (0,10±0,06) foi significativamente menor do que os de 45° (1,62±0,55) e 90° (0,97±0,22). A microdureza foi semelhante entre os grupos. Após o envelhecimento, observou-se uma redução significativa da resistência a flexão do grupo de 0° (92,98±29,38) comparado ao não envelhecimento, alcançando valores semelhantes estatisticamente aos grupos envelhecidos de 45° (123,50±34,43) e 90° (119,30±19,95). A rugosidade superficial pós envelhecimento do grupo de 0° (0,30±0,18) permaneceu significativamente menor do que os grupos de 45° (3,75±0,43) e 90° (1,38±0,60). Para o grupo de 45° houve um aumento significativo de rugosidade pós envelhecimento, comparado ao não envelhecimento. A microdureza do grupo de 45° reduziu significativamente após o envelhecimento, alcançando valores significativamente menores (13,80±1,21) comparado aos grupos de 0° (18,32±0,75) e 90° (17,60±4,02), que foram semelhantes. A resistência à flexão e a rugosidade sofreram influência significativa da orientação de impressão, do envelhecimento e da interação destes fatores. A microdureza foi influenciada significativamente somente pelo envelhecimento. Os resultados obtidos sem o envelhecimento mostraram superioridade do grupo impresso em 0° nos parâmetros testados. Após a o envelhecimento, houve redução significativa da resistência à flexão do grupo de 0°, deixando-o com valores semelhantes aos demais grupos. Para a microdureza e rugosidade, o envelhecimento promoveu uma piora significativa para o grupo de 45°. A combinação entre os dois fatores foi significativa na resistência a flexão e rugosidade.

Palavras-chave: Impressão 3D. Envelhecimento. Estereolitografia. Compósito.

ABSTRACT

The aim of this in vitro study was to evaluate the effects of impression orientation, thermocycling aging and their interaction on some mechanical properties and surface characteristics of a resin for temporary restorations, obtained by 3D printing with DLP/LCD technology. Sixty bars (4x2x10 mm) were produced for each experimental group (n=10), designed in the Meshmixer software and three-dimensionally printed in 3 different printing orientations (0, 45 and 90 degrees of inclination). Ten bars from each group were submitted to the 3-point bending test, without any aging period, in a universal testing machine. Then the surface roughness and microhardness were measured. Another ten bars from each group were aged by thermocycling in a thermal cycle simulation machine model MSCT-3 (Marcelo Nucci ME, São Carlos, Brazil). Thermocycling was performed according to the following protocol: 6,000 cycles of 3 consecutive turns each: 20 seconds (residency time) at 5°C; 5 seconds (transfer time) at room temperature (23°C); and 20 seconds (residency time) at 55°C. Afterwards, they were submitted to the same tests. In tests without aging, the resistance to flexion of the 0° group (236.20 ± 29.73) was significantly higher than that of the 45° (155.80 ± 36.19) and 90° (138.70 ± 48.20). The surface roughness of the 0° group (0.10 ± 0.06) was significantly lower than that of the 45° (1.62 ± 0.55) and 90° (0.97 ± 0.22) groups. Microhardness was similar between groups. After aging, there was a significant reduction in the flexural strength of the 0° group (92.98 ± 29.38) compared to the non-aging group, reaching statistically similar values to the aged 45° groups (123.50 ± 34.43) and 90° (119.30 ± 19.95). The surface roughness after aging of the 0° group (0.30 ± 0.18) remained significantly lower than the 45° (3.75 ± 0.43) and 90° (1.38 ± 0.60) groups. For the 45° group, there was a significant increase in roughness after aging, compared to the non-aging group. The microhardness of the 45° group significantly reduced after aging, reaching significantly lower values (13.80 ± 1.21) compared to the 0° (18.32 ± 0.75) and 90° (17.60 ± 4.02), which were similar. Flexural strength and roughness were significantly influenced by print orientation, aging and the interaction of these factors. Microhardness was significantly influenced only by aging. The results obtained without aging showed superiority of the group printed at 0° in the tested parameters. After aging, there was a significant reduction in the resistance to flexion of the 0° group, leaving it with values similar to the other groups. For microhardness and roughness, the aging promoted a significant worsening for the 45° group. The combination between the two factors was significant in flexural strength and roughness.

Keywords: 3D printing. Aging. Stereolithography. Composite.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Imagem original do software exemplificando os corpos de prova a serem impressos (Meshmixer- Autodesk Inc, EUA) 25
- Figura 2: Corpos de prova sobre a base após impressão. Camadas impressas a 0, 45 e 90 graus em relação a base de impressão 26
- Figura 3: máquina de simulação de ciclos térmicos modelo MSCT-3 (Marcelo Nucci ME, São Carlos, Brasil)..... 27
- Figura 4: Fotografia do teste de flexão em 3 pontos em máquina de ensaio universal 28
- Figura 5: À esquerda, fotografia do computador anexado ao microdurômetro (Shimadzu, Série HMV-G, Japão), à direita, demonstração de uma edentação realizada em um dos corpos de prova que compunham o teste, e detalhe da especificação do microdurômetro..... 29
- Figura 6: Fotografia realizada no momento do teste, quando 5 espécimes foram posicionados sobre uma base de teste. A haste sobre um dos corpos de prova representa a ponta do perfilômetro de contato..... 30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	3 Dimensões
ANOVA	Análise de variância
Cad Cam	Computer-aided design/computer-aided manufacturing ou desenho assistido por computador/ manufatura assistida por computador.
Co	Coproduction ou Coprodução
DLP	Digital Light Processing ou Processamento Digital de Luz
Dr	Doutor
Inc.	Incorporated ou Corporação
LCD	Liquid Crystal Display, ou Suporte de Cristal Líquido
Ltd.	Limited company ou Sociedade de responsabilidade limitada
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MSLA	Masked Stereolithography Apparatus ou Esteriolitografia a LCD
PUC	Pontifícia Universidade Católica
SLA	Stereolithography Apparatus ou Esteriolitografia à laser
Tech.	Tecnologia
USA	United States of America ou Estados Unidos da América
UV	Ultra Violeta

LISTA DE SÍMBOLOS

HV	Dureza Vickers
Hz	Hertz
kV	Quilovolt
Ra	Rugosidade média
W	Watt

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	23
2.1	Objetivo geral	23
2.2	Objetivos específicos	23
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1	Variáveis independentes e grupos experimentais	25
3.2	Envelhecimento por termociclagem	26
3.3	Testes de resistência à flexão.....	27
3.4	Avaliação da microdureza.....	28
3.5	Avaliação da rugosidade.....	29
3.6	Análise estatística	30
4	ARTIGO CIENTÍFICO	31
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A odontologia atual conta com o auxílio da informática na manufatura de projetos e produtos. A manufatura aditiva, ou impressão tridimensional (3D), usa imagens de um arquivo digital para criar um objeto, estabelecendo camadas sucessivas de um material escolhido. As tecnologias digitais para obtenção das restaurações impressas possuem vantagens em relação a outros processos de fabricação, como por exemplo a diminuição de consultas e menor tempo de produção (KESSLER; HICKEL; REYMUS, 2020).

Revilla-León *et al.* (2019) revisaram que as tecnologias 3D são métodos de manufatura que viabilizam o processo de fabricação de restaurações provisórias, porém dentistas e equipe técnica devem receber treinamento para entender e superar a curva de aprendizado. Estudos futuros precisam analisar os novos materiais odontológicos de impressão 3D, avaliando a acurácia, reprodutibilidade e resultados clínicos com o passar do tempo e ao longo da função.

As propriedades mecânicas e físicas das resinas de impressão 3D são influenciadas por diversos fatores, tais como: a composição das resinas, a tecnologia de impressão utilizada, o grau de polimerização, a intensidade da fonte de luz, a espessura da camada, a distância entre as camadas e técnicas de pós-polimerização. De acordo com Puebla *et al.* (2012) as configurações desses parâmetros são essenciais para alcançar a acurácia nesse processo de manufatura aditiva. Dentre estes fatores destaca-se a orientação de impressão.

Shim *et al.* (2020) constataram que a orientação de impressão influenciou significativamente a acurácia, resistência a flexão, rugosidade e a resposta à colonização bacteriana, indicando que a orientação de impressão deve ser cuidadosamente escolhida, a fim de se realizar reabilitações com propriedades apropriadas à função.

Unkovskiy *et al.* (2018) compararam as dimensões e a resistência a flexão de espécimes impressos em três diferentes orientações de impressão (0°, 45° e 90°). E concluíram que a orientação de impressão pode afetar a acurácia e a reprodutibilidade dos espécimes, assim como suas propriedades mecânicas.

Testes realizados em resinas impressas demonstraram uma redução nos parâmetros mecânicos após processo de envelhecimento do material. Reymus *et al.* (2020) compararam quatro diferentes resinas para restaurações temporárias impressas tridimensionalmente e concluíram que o processo de envelhecimento contribuiu para uma redução dos valores de carga em três delas.

Scherer *et al.* (2022) compararam a resistência à fratura de espécimes de uma resina para restaurações provisórias impressos 3D, antes e após um protocolo de envelhecimento

utilizando um simulador de mastigação. Concluíram que o envelhecimento artificial diminuiu significativamente a resistência à fratura e resistência à flexão do material.

Segundo Giugovaz *et al.* (2022), a resistência à flexão dos materiais provisórios produzidos por manufatura aditiva é reduzida após o envelhecimento artificial, provavelmente causados por fatores que incluem degradação da matriz e absorção de água.

Desta forma, a influência da orientação de impressão, do envelhecimento das resinas de impressão 3D e a interação entre estes dois fatores ainda precisam ser investigados.

O presente trabalho propõe-se a investigar esta influência sobre a resistência a flexão, microdureza e rugosidade superficial de resina de impressão 3D para restaurações provisórias.

A hipótese nula a ser testada é de que a orientação de impressão, o envelhecimento e a interação entre estes fatores não influenciam as propriedades mecânicas e características superficiais da resina de impressão 3D.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos da orientação de impressão, do envelhecimento por termociclagem e da sua interação nas propriedades mecânicas e características superficiais de uma resina impressa para restaurações provisórias utilizando tecnologia DLP/LCD.

2.2 Objetivos específicos

- a) comparar a resistência à flexão de barras impressas em três orientações, antes e após o envelhecimento;
- b) comparar a rugosidade de barras impressas em três orientações, antes e após o envelhecimento;
- c) comparar a microdureza de barras impressas em três orientações, antes e após o envelhecimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

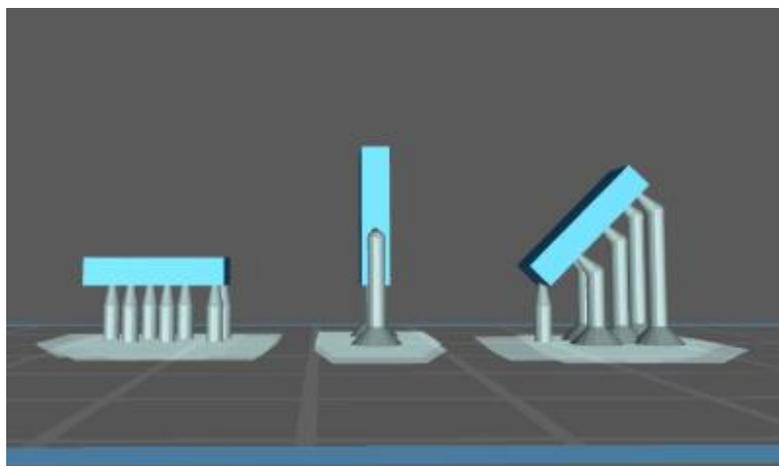
3.1 Variáveis independentes e grupos experimentais

As seguintes variáveis independentes foram testadas: orientação de impressão em 3 níveis (0, 45 e 90 graus) e envelhecimento (sem e pós envelhecimento), assim como a combinação entre elas.

Sessenta corpos de provas no formato de barras, de dimensões: 4x2x10 mm, foram produzidos por manufatura aditiva conforme descrito por (SIMONETI; PEREIRA-CENCI; SANTOS, 2020), utilizando-se tecnologia DLP/LCD com uma espessura de camada de 0,05 mm, três orientações de impressão (0, 45 e 90 graus de inclinação) (SHIM *et al.*, 2020). Foram produzidas 20 barras para cada um dos grupos experimentais, onde metade delas foi submetida aos testes mecânicos sem qualquer período de envelhecimento, e a outra metade foi submetida aos mesmos testes, após um protocolo de envelhecimento por termociclagem.

Os corpos de prova foram desenhados no software Meshmixer (Autodesk Inc, EUA) e na sequência preparados para impressão 3D utilizando-se o software CHITUBOX (CBD- Tech, China) (Fig. 1).

Figura 1: Imagem original do software exemplificando os corpos de prova a serem impressos (Meshmixer- Autodesk Inc, EUA)



Fonte: Imagem cedida pelo Laboratório Dr. Cad Cam, Belo Horizonte, Brasil (2022)

Todos os corpos de prova foram produzidos utilizando-se a mesma impressora (Mikra, Resin 3D Printer - Zhangzhou Echo Technology Co. Ltd.) com tecnologia de impressão

DLP/LCD e com espessura da camada de 0,05 mm e a mesma resina para restaurações temporárias para impressão 3D (Printax -AA Temp), na cor BL. Foi projetada uma base que foi impressa em 12 camadas, com tempo de exposição de 70 segundos de luz entre cada uma dessas camadas. Para as barras o tempo de exposição de luz entre as camadas foi de 14 segundos. Finalizada a impressão, os corpos de prova juntamente com as bases foram removidos da bandeja de impressão e lavados com álcool isopropílico por 5 minutos em cuba apropriada sobre vibrador com frequência de 50/60 Hz e potência de 40 W (Vibramaxx - Essence Dental). Posteriormente os corpos de prova foram submetidos ao processo de pós cura recomendado pelo fabricante, sendo 2 ciclos de 1 minuto em câmara de cura (Mikra Cure-Zhangzhou Echo Technology Co., Ltd) tecnologia: LED UV- com comprimento de onda de 405 nm, potência de 100 w (Fig. 2). As barras foram removidas cuidadosamente das bases de impressão com disco diamantado e separadas conforme angulação de impressão.

Figura 2: Corpos de prova sobre a base após impressão. Camadas impressas a 0, 45 e 90 graus em relação a base de impressão



Fonte: Fotografia feita pelo Laboratório Dr. Cad Cam, Belo Horizonte, Brasil (2022)

3.2 Envelhecimento por termociclagem

Dez corpos de prova de cada grupo (impressos em 0°, 45° e 90°) foram submetidos a um protocolo de envelhecimento por termociclagem em uma máquina de simulação de ciclos térmicos modelo MSCT-3 (Marcelo Nucci ME, São Carlos, Brasil), no LIPEM (Laboratório Integrado de Pesquisa de Biocompatibilidade de Materiais), da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo (Fig. 3). A termociclagem foi realizada de acordo com o seguinte protocolo: 6.000 ciclos de 3 voltas consecutivas cada: 20 segundos (tempo de

permanência) a 5°C; 5 segundos (tempo de transferência) à temperatura ambiente (23°C); e 20 segundos (tempo de permanência) a 55°C, sugerido por Giugovaz *et al.* (2022).

Figura 3: máquina de simulação de ciclos térmicos modelo MSCT-3 (Marcelo Nucci ME, São Carlos, Brasil)

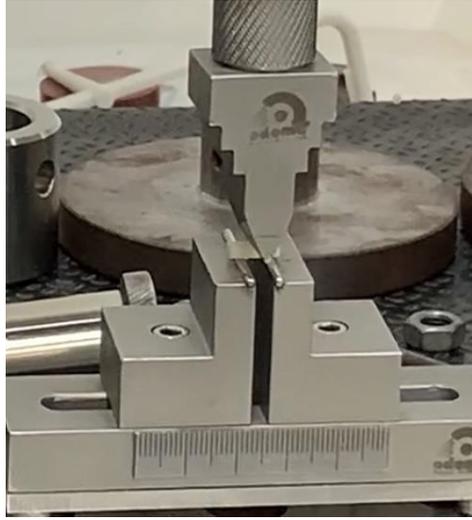


Fonte: Arquivo pessoal do Prof. Frederico Santos Lages

3.3 Testes de resistência à flexão

O ensaio de resistência à flexão em três pontos foi realizado no Laboratório de testes mecânicos do Departamento de Engenharia Civil da PUC Minas Coração Eucarístico, Belo Horizonte, Brasil; utilizando-se uma máquina de ensaio universal (Emic, Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda.), velocidade de 0,5 mm por minuto, célula de carga de 500 N. O ponto de apoio superior foi feito pelo dispositivo de flexão de três pontos (Odeme Dental Research, Brasil) no centro do corpo de prova com o formato de barra (Fig. 4).

Figura 4: Fotografia do teste de flexão em 3 pontos em máquina de ensaio universal

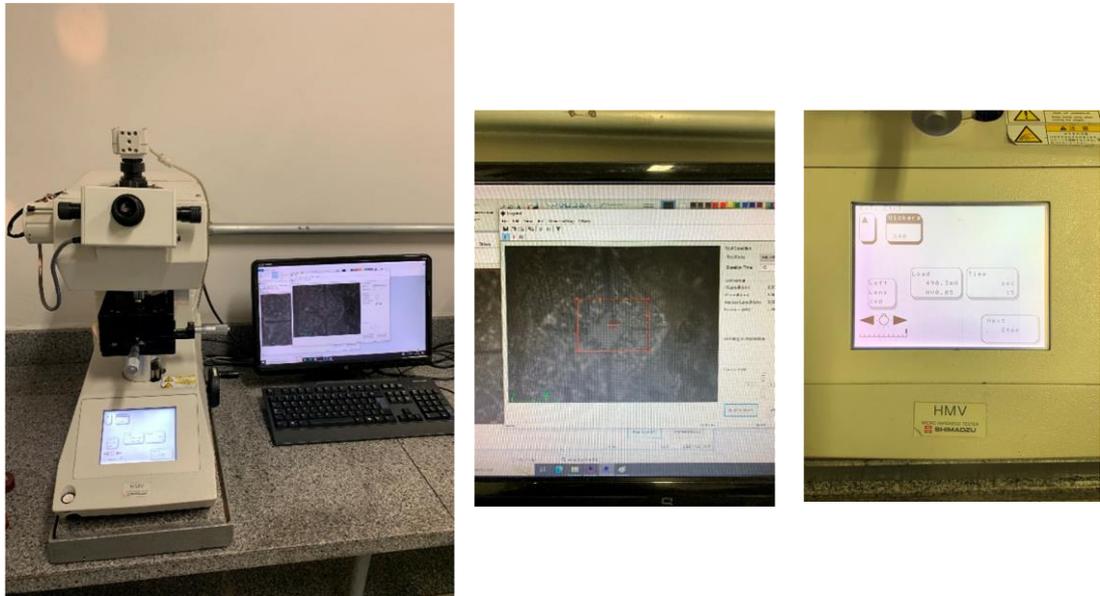


Fonte: Fotografia do autor

3.4 Avaliação da microdureza

A microdureza de Vickers foi avaliada no Laboratório de materiais de construção e mecânica do Departamento de engenharia da PUC Minas, Contagem, Brasil; utilizando-se o microdurômetro (Shimadzu, Série HMV-G, Japão), realizando-se 5 microedentações em 5 diferentes regiões de um corpo de cada espécime. Foi aplicada uma carga de 490,3 mN por 15 segundos de acordo com a norma técnica ASTM E384 (2010). O valor foi determinado pela média das 5 medidas realizadas e expresso em (HV) (Fig. 5).

Figura 5: À esquerda, fotografia do computador anexado ao microdurômetro (Shimadzu, Série HMV-G, Japão), à direita, demonstração de uma edentação realizada em um dos corpos de prova que compunham o teste, e detalhe da especificação do microdurômetro



Fonte: Fotografias do autor

3.5 Avaliação da rugosidade

Para avaliação da rugosidade superficial, foram utilizados 5 corpos de cada espécime. Uma área de 4 mm², localizada no centro de cada espécime foi a área de leitura do teste. Foi utilizado um perfilômetro de contato (Rugosímetro modelo TR210, Time Group Inc., China) no Laboratório de materiais de construção e mecânica do Departamento de Engenharia da PUC Minas Contagem, Brasil; sendo realizadas 5 leituras para cada um dos espécimes (Fig. 6). O parâmetro de rugosidade aritmética (Ra) foi o resultado da média/mediana dessas cinco medidas (SIMONETI; PEREIRA-CENCI; SANTOS, 2020).

Figura 6: Fotografia realizada no momento do teste, quando 5 espécimes foram posicionados sobre uma base de teste. A haste sobre um dos corpos de prova representa a ponta do perfilômetro de contato



Fonte: Fotografia do autor

3.6 Análise estatística

Análise realizada utilizando-se o programa GraphPad Prism, versão 5.0.

Os dados apresentaram distribuição normal, aferida com teste Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. Portanto os dados foram representados pelas médias e desvios-padrão.

As seguintes variáveis dependentes foram analisadas: resistência a flexão, microdureza e rugosidade.

As seguintes variáveis independentes foram testadas: orientação de impressão em 3 níveis (0, 45 e 90 graus) e envelhecimento em 2 níveis (sem e após envelhecimento).

Para avaliar a influência e a interação das variáveis independentes, foi utilizado o teste de variância em 2 fatores. E para as múltiplas comparações entre 2 grupos o teste de Sidak, ambos com nível de significância de 5%.

4 ARTIGO CIENTÍFICO

Efeitos da orientação de impressão e do envelhecimento na resistência a flexão, microdureza e rugosidade superficial de resina de impressão 3d para restaurações provisórias

Artigo a ser submetido ao periódico **Brazilian Dental Journal (Qualis Odontologia A2)**.

As normas para submissão do artigo encontram-se no link abaixo:

Link das normas para publicação: <https://www.scielo.br/j/bdj/>

Efeitos da orientação de impressão e do envelhecimento na resistência a flexão, microdureza e rugosidade superficial de resina de impressão 3D para restaurações provisórias

Envelhecimento e ângulos de impressão 3D

Martins, Anderson Sérgio ¹; Queiroz, Nádia Vieira ¹; Antunes, Alberto Nogueira da Gama ¹; Lages, Frederico Santos ², Barros, Vinícius de Magalhães ¹

¹ Departamento de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

² Departamento de Odontologia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

Autores:

Anderson Sérgio Martins. Telefone: +55 31 99131-0655. ORCID: 0000-0002-0600-4286

E-mail: andsmartins@yahoo.com.br

Nádia Vieira Queiroz. Telefone: +55 31 99702-2664. ORCID: 0000-0002-0617-3733

E-mail: nadiavqueiroz@hotmail.com

Alberto Nogueira da Gama Antunes. Telefone +55 31 99587-5312. ORCID: 0000-0003-4554-7440

E-mail: antunes1978@gmail.com

Vinícius de Magalhães Barros. Telefone +55 31 99119-5929. ORCID: 0000-0002-2633-010X

E-mail: viniciusmbarros@gmail.com

Frederico Santos Lages. Telefone +55 31 3409-2443. ORCID: 0000-0002-8885-1138

E-mail: fredlages@ufmg.br

Correspondente: Dr. Vinícius de Magalhães Barros, Programa de Pós-graduação em Odontologia, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gaspar, 500, Prédio 46, Sala 101, Coração Eucarístico, CEP: 30535-901 – Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, E-mail: viniciusmbarros@gmail.com, Telefone: (31) 99119-5929

RESUMO

Estudo *in vitro* para avaliar os efeitos da orientação de impressão, do envelhecimento e da combinação dessas variáveis em uma resina para provisórios impressa tridimensionalmente com tecnologia DLP/LCD. Sessenta barras (4x2x10 mm) foram impressas em 3 orientações: 0, 45 e 90°. Dez barras de cada grupo, sem envelhecimento, foram submetidas ao teste de flexão em 3 pontos e aferidos rugosidade superficial e microdureza (n=10). Outras dez barras de cada grupo foram envelhecidas por termociclagem e submetidas aos mesmos testes. Os dados foram comparados com teste ANOVA dois fatores e pós teste de Sidak (p>5%). Sem envelhecimento, a resistência a flexão ($236,20 \pm 29,73 \text{ N/mm}^2$) e a rugosidade superficial ($0,10 \pm 0,06 \text{ ra}$) foram favoráveis ao grupo impresso a 0°. A microdureza foi semelhante entre os grupos. Após o envelhecimento, observou-se uma redução em todos os parâmetros pesquisados, para todos os grupos. A resistência à flexão e a rugosidade sofreram influência significativa da orientação de impressão, do envelhecimento e da combinação destes fatores. A microdureza foi influenciada significativamente somente pelo envelhecimento. Nos parâmetros avaliados, antes do envelhecimento, o grupo impresso em 0° mostrou-se superior aos demais. Após o envelhecimento, houve redução da resistência à flexão mais significativa para o grupo de 0°, deixando-o com valores semelhantes aos demais grupos. Para a microdureza e rugosidade, o envelhecimento promoveu uma piora mais significativa para o grupo de 45°. A combinação entre os dois fatores foi significativa na resistência à flexão e rugosidade.

Palavras-chave: Impressão 3D, Envelhecimento, Estereolitografia

INTRODUÇÃO

A odontologia atual conta com o auxílio da informática na manufatura de projetos e produtos. A manufatura aditiva, ou impressão tridimensional (3D), usa imagens de um arquivo digital para criar um objeto, estabelecendo camadas sucessivas de um material escolhido. As tecnologias digitais para obtenção das restaurações impressas possuem vantagens em relação a outros processos de fabricação, como por exemplo a diminuição de consultas e menor tempo de produção (KESSLER; HICKEL; REYMUS, 2020).

Revilla-León *et al.* (2019) revisaram que as tecnologias 3D são métodos de manufatura que viabilizam o processo de fabricação de restaurações provisórias, porém dentistas e equipe técnica devem receber treinamento para entender e superar a curva de aprendizado. Estudos futuros precisam analisar os novos materiais odontológicos de impressão 3D, avaliando a acurácia, reprodutibilidade e resultados clínicos com o passar do tempo e ao longo da função.

As propriedades mecânicas e físicas das resinas de impressão 3D são influenciadas por diversos fatores, tais como: a composição das resinas, a tecnologia de impressão utilizada, o grau de polimerização, a intensidade da fonte de luz, a espessura da camada, a distância entre as camadas e técnicas de pós-polimerização. De acordo com Puebla *et al.* (2012) as configurações desses parâmetros são essenciais para alcançar a acurácia nesse processo de manufatura aditiva. Dentre estes fatores destaca-se a orientação de impressão.

Shim *et al.* (2020) constataram que a orientação de impressão influenciou significativamente a acurácia, resistência a flexão, rugosidade e a resposta à colonização bacteriana, indicando que a orientação de impressão deve ser cuidadosamente escolhida, a fim de se realizar reabilitações com propriedades apropriadas à função.

Unkovskiy *et al.* (2018) compararam as dimensões e a resistência a flexão de espécimes impressos em três diferentes orientações de impressão (0°, 45° e 90°). E concluíram que a orientação de impressão pode afetar a acurácia e a reprodutibilidade dos espécimes, assim como suas propriedades mecânicas.

Testes realizados em resinas impressas demonstraram uma redução nos parâmetros mecânicos após processo de envelhecimento do material. Reymus *et al.* (2020) compararam quatro diferentes resinas para restaurações temporárias impressas tridimensionalmente e concluíram que o processo de envelhecimento contribuiu para uma redução dos valores de carga em três delas.

Scherer *et al.* (2022) compararam a resistência à fratura de espécimes de uma resina para restaurações provisórias impressos 3D, antes e após um protocolo de envelhecimento

utilizando um simulador de mastigação. Concluíram que o envelhecimento artificial diminuiu significativamente a resistência à fratura e resistência à flexão do material.

Segundo Giugovaz *et al.* (2022), a resistência à flexão dos materiais provisórios produzidos por manufatura aditiva é reduzida após o envelhecimento artificial, provavelmente causados por fatores que incluem degradação da matriz e absorção de água.

Desta forma, a influência da orientação de impressão, do envelhecimento das resinas de impressão 3D e a interação entre estes dois fatores ainda precisam ser investigados.

O presente trabalho propõe-se a investigar esta influência sobre a resistência a flexão, microdureza e rugosidade superficial de resina de impressão 3D para restaurações provisórias.

A hipótese nula a ser testada é de que a orientação de impressão, o envelhecimento e a interação entre estes fatores não influenciam as propriedades mecânicas e características superficiais da resina de impressão 3D.

MATERIAL E MÉTODOS

As seguintes variáveis independentes foram testadas: orientação de impressão em 3 níveis (0, 45 e 90 graus) e envelhecimento (sem e pós envelhecimento), assim como a combinação entre elas.

Sessenta corpos de provas no formato de barras, de dimensões: 4x2x10 mm, foram produzidos por manufatura aditiva conforme descrito por (10), utilizando-se tecnologia de DLP com uma espessura de camada de 0,05 mm, três orientações de impressão (0, 45 e 90 graus de inclinação) (5). Foram produzidas 20 barras para cada um dos grupos experimentais, onde metade delas foi submetida aos testes mecânicos sem qualquer período de envelhecimento, e a outra metade foi submetida aos mesmos testes, após um protocolo de envelhecimento por termociclagem.

Os corpos de prova foram desenhados no software Meshmixer (Autodesk Inc, EUA) e na sequência preparados para impressão 3D utilizando-se o software CHITUBOX (CBD- Tech, China) (Figura 1).

Todos os corpos de prova foram produzidos utilizando-se a mesma impressora (Mikra, Resin 3D Printer- Zhangzhou Echo Technology Co. Ltd.) com tecnologia de impressão: LCD MSLA e com espessura da camada de 0,05mm e mesma resina para restaurações temporárias para impressão 3D (Printax -AA Temp), na cor BL. Foi projetada uma base que foi impressa em 12 camadas, com tempo de exposição de 70 segundos de luz entre cada uma dessas camadas. Para as barras o tempo de exposição de luz entre as camadas foi de 14 segundos. Finalizada a impressão, os corpos de prova juntamente com as bases foram removidos da bandeja de

impressão e lavados com álcool isopropílico por 5 minutos em cuba apropriada sobre vibrador com frequência de 50/60 Hz e potência de 40 W (Vibramaxx-Essence Dental). Posteriormente os corpos de prova foram submetidos ao processo de pós cura recomendado pelo fabricante, sendo 2 ciclos de 1 minuto em câmara de cura (Mikra Cure-Zhangzhou Echo Technology Co., Ltd) tecnologia: LED UV- com comprimento de onda de 405 nm, potência de 100W (Figura 2). As barras foram removidas cuidadosamente das bases de impressão com disco diamantado e separadas conforme angulação de impressão.

Testes de resistência à flexão

O ensaio de resistência à flexão em três pontos foi realizado utilizando-se uma máquina de ensaio universal (Emic, Equipamentos e Sistemas de Ensaios Ltda.), velocidade de 0,5 mm por minuto, célula de carga de 500 N. O ponto de apoio superior foi feito pelo dispositivo de flexão de três pontos (Odeme Dental Research, Brasil) no centro do corpo de prova com o formato de barra.

Avaliação da microdureza

A microdureza de Vickers foi avaliada utilizando-se o microdurômetro (Shimadzu, Série HMV-G, Japão), realizando-se 5 microedentações em 5 diferentes regiões de um corpo de cada espécime. Foi aplicada uma carga de 490,3 mN por 15 segundos de acordo com a norma técnica ASTM E384 (2010). O valor foi determinado pela média das 5 medidas realizadas e expresso em (HV).

Avaliação da rugosidade superficial

Para avaliação da rugosidade superficial, foram utilizados 5 corpos de cada espécime. Uma área de 4 mm², localizada no centro de cada espécime foi a área de leitura do teste. Foi utilizado um perfilômetro de contato (Rugosímetro modelo TR210, Time Group Inc., China) sendo realizada cinco leituras para cada um dos espécimes. O parâmetro de rugosidade aritmética (Ra) foi o resultado da média/mediana dessas cinco medidas.

Envelhecimento por termociclagem

Dez corpos de prova de cada grupo (impressos em 0, 45 e 90°) foram submetidos a um protocolo de envelhecimento por termociclagem em uma máquina de simulação de ciclos térmicos modelo MSCT-3 (Marcelo Nucci ME, São Carlos, Brasil). A termociclagem foi realizada de acordo com o seguinte protocolo: 6.000 ciclos de 3 voltas consecutivas cada: 20

segundos (tempo de permanência) a 5° C; 5 segundos (tempo de transferência) à temperatura ambiente (23° C); e 20 segundos (tempo de permanência) a 55° C (9). Após a termociclagem, os corpos de prova foram submetidos aos mesmos testes citados anteriormente.

Análise estatística

Os dados apresentaram distribuição normal, aferida com teste Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk e foram representados pelas medias e desvios-padrão. Para comparação inicial do efeito da angulação de impressão, as médias dos 3 diferentes grupos foram comparadas com teste de análise de variância de dois fatores (ANOVA), seguido do teste de Sidak, com nível de significância de 5% (GraphPad Prism, versão 5.0).

RESULTADOS

Os resultados de média e desvio-padrão da resistência à flexão, dureza Vickers e rugosidade superficial das três diferentes angulações de impressão (0°, 45° e 90°) podem ser observados na tabela abaixo, dos grupos sem envelhecimento e após o envelhecimento por termociclagem (representados na tabela 1 como “termo”).

A resistência à flexão sem envelhecimento dos grupos de 45° e 90° não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Já os espécimes produzidos com a angulação de 0° apresentaram resistência à flexão significativamente maior do que os de 45 e 90°. Após o envelhecimento, houve uma redução na resistência à flexão em todos os grupos. O grupo impresso em 0° sofreu uma redução significativamente maior em comparação com os grupos impressos em 45° e 90°, atingindo valores estatisticamente semelhantes aos destes grupos (Figura 3).

A análise de variância em dois fatores mostrou que tanto a orientação de impressão (df=2, MS=6660, F=5,089, P =0,0133) como o envelhecimento artificial (df=1, MS=63301, F=62,53, P <0,0001) influenciaram de maneira significativa os valores de resistência a flexão. A interação entre as estas duas variáveis (df=2, MS=23149, F=22,87, P <0,0001) foi considerada extremamente significativa, responsável por 24,95% da variação aferida. Enquanto que a orientação de impressão foi responsável por 7,18%, e o envelhecimento por 34,11% da variação aferida.

Nos espécimes não envelhecidos, o grupo de 0° apresentou rugosidade superficial significativamente menor, seguido do grupo de 90°. O grupo de angulação 45° apresentou a maior rugosidade. Após o envelhecimento não se observou diferença significativa de

rugosidade nos grupos de 0 e 90 graus. Já o grupo de 45 graus apresentou um aumento significativo da rugosidade após o envelhecimento (Figura 4).

A análise de variância em dois fatores mostrou que a orientação de impressão ($df=2$, $MS=15,69$, $F=137,6$, $P<0,0001$), que o envelhecimento artificial ($df=1$, $MS=6,234$, $F=30,28$, $P=0,0001$) e que a interação entre as duas variáveis ($df=2$, $MS=2,808$, $F=13,64$, $P=0,0008$) influenciaram de maneira significativa os valores de rugosidade. A orientação de impressão foi responsável por 66,67% da variação aferida, o envelhecimento por 13,24% e a interação por 11,93%.

Os grupos sem envelhecimento com as três diferentes angulações de impressão (0° , 45° e 90°) apresentaram dureza Vickers semelhantes estatisticamente. Após o envelhecimento, somente o grupo de 45° apresentou microdureza significativamente menor do que sem o envelhecimento (Figura 5).

A análise de variância em dois fatores mostrou que o envelhecimento artificial ($df=1$, $MS=149,2$, $F=14,82$, $P<0,0049$) influenciou de maneira significativa os valores de dureza e foi responsável por 34,44% da variação aferida. Tanto a orientação de impressão ($df=2$, $MS=7,55$, $F=0,8702$, $P=0,4378$) como a interação entre as duas variáveis ($df=2$, $MS=24,76$, $F=2,853$, $P=0,0871$) não foram significativas, sendo a primeira responsável por 3,49% da variação aferida, enquanto que a interação foi responsável por 11,43%.

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo *in vitro* demonstraram os efeitos da orientação de impressão, do envelhecimento por termociclagem e da combinação entre esses dois fatores nas propriedades mecânicas e características superficiais de uma resina para restaurações temporárias, obtidas por impressão 3D com tecnologia DLP/LCD, refutando a hipótese nula testada.

A incorporação da tecnologia de impressão 3D acelerou a adoção de um fluxo de trabalho digital em muitos consultórios odontológicos e os métodos computadorizados de fabricação de restaurações dentárias são um campo crescente na Odontologia (11). No cenário odontológico, esta tecnologia vem ganhando destaque em diversas áreas, como por exemplo, na obtenção de alinhadores estéticos, confecção de provisórios, guias cirúrgicos, modelos diagnósticos e placas oclusais. Sendo assim, a manufatura aditiva possui a vantagem de possibilitar impressão de itens com estruturas mais complexas, além de diminuir o tempo de produção e a quantidade de material utilizado, custo não elevado para impressoras mais básicas, reduzindo o desperdício e a probabilidade de erros humanos durante a fabricação (12). As

resinas impressas em 3D têm propriedades mecânicas e de superfície aceitáveis, embora algumas características físicas e visuais possam comprometer a utilização desses materiais a longo prazo (11).

Nos grupos sem envelhecimento, as barras impressas com orientação de 0° em relação a plataforma mostraram maior resistência à flexão e menor rugosidade superficial em comparação com as barras impressas nas orientações 45° e 90° (tabela 1). A orientação de impressão que proporciona a deposição de camadas que estarão orientadas perpendicularmente à direção de aplicação da carga resultou em maior resistência à flexão do objeto impresso. Esse mesmo comportamento foi observado em outros trabalhos (5,7,13); as interações químicas presentes na mesma camada parecem propiciar melhores resultados mecânicos do que aquelas existentes entre as camadas (7,13). Os mesmos autores (7,13) demonstraram inclusive que o padrão de deformação dos corpos de prova antes de sua fratura foi diferente de acordo com a orientação das camadas em relação à aplicação da tensão, sugerindo que o estresse entre as camadas provocado pela aplicação da tensão promoveu um “deslizamento” entre as camadas.

A microdureza foi semelhante para as três orientações de impressão. Neste cenário, a angulação de 0° , proporcionando a deposição das camadas de resina perpendicularmente à aplicação da carga, apresentou-se mais favorável do que as outras orientações de impressão testadas, levando-se em consideração a sua maior resistência a flexão e menor rugosidade.

Após o envelhecimento artificial, houve uma redução da resistência à flexão para todas as orientações de impressão, sendo esta redução estatisticamente significativa no grupo com a angulação de 0° . Desta forma, após o envelhecimento, o grupo de 0° passou a apresentar uma resistência a flexão semelhante aos outros grupos.

Testes realizados em resinas impressas demonstraram uma redução nos parâmetros mecânicos após um processo de envelhecimento do material por termociclagem, por imersão em água e também por simuladores de mastigação. Concluíram que os procedimentos de envelhecimento artificial diminuíram significativamente a resistência à fratura e resistência à flexão do material. Estes dados sugerem que esses materiais reduzem suas propriedades após um tempo de utilização clínica, porém, mesmo com essas perdas, ainda mantiveram resistência adequada a aplicação clínica como restaurações temporárias. Uma provável causa da redução das propriedades mecânicas seriam fatores que incluem degradação da matriz e maior valor de absorção de água em sua estrutura interna (7,8,9,14).

O tipo de resina parece também influenciar no seu comportamento após o envelhecimento artificial (4,7,15). Giugovaz et al. (9) e Jain et al. (14) observaram redução nas

propriedades mecânicas e físicas das resinas para restaurações provisórias após envelhecimento, com influência da técnica de fabricação e composição dos materiais testados.

Os resultados apresentados neste trabalho demonstraram que tanto a orientação de impressão, quanto o envelhecimento e também a interação entres estes fatores influenciou significativamente a resistência a flexão. Infere-se que o envelhecimento realizado promoveu a degradação da matriz da única resina testada de forma semelhante para as três diferentes orientações de impressão. Como inicialmente a orientação de impressão de 0° apresentou maior resistência a flexão, a degradação da matriz resultou em uma perda percentual maior para este grupo, comparado aos demais. Mesmo após o envelhecimento, a resistência a flexão da resina testada nas três diferentes orientações de impressão, foi superior àqueles valores médios esperados para dentes posteriores (12 a 90N) descritos por Waltimo and Könönen (16), suportando a sua utilização clínica como material restaurador temporário.

Quanto à análise da rugosidade, foi observado que o grupo impresso a 0° apresentou o melhor resultado, seguido do grupo impresso a 90°. As barras produzidas com angulação de 45° apresentaram a maior rugosidade. Esse resultado foi observado antes e após o envelhecimento, para todos os grupos. Novamente a orientação de impressão, o envelhecimento e também a interação entres estes fatores influenciou significativamente a rugosidade. O aumento da rugosidade nos três grupos após o envelhecimento pode ter sido provocado pela provável degradação da matriz da resina testada. Esse aumento da rugosidade foi mais significativo no grupo impresso a 45°.

Os resultados corroboram os obtidos por Shin et al. (5), que avaliaram o mesmo parâmetro a partir de testes realizados com resina impressa nas mesmas angulações. Mickeviciute et al. (17) mostraram em seu estudo que a superfície de uma restauração transitória deve ser mais lisa o possível, a fim de garantir estabilidade de cor e saúde periodontal. Trabalhos como (17,18) afirmam ainda que a diminuição da rugosidade da superfície de uma restauração transitória pode favorecer a estabilidade de cor. Em estudos onde a rugosidade da superfície foi comparada entre uma resina impressa e uma resina bis acrílica, avaliando a precisão de adaptação de restaurações (19,20), a tecnologia de manufatura aditiva na fabricação de restaurações temporárias tende a ser uma conduta adequada, pois como demonstram os trabalhos de (10), espécimes obtidos por manufatura aditiva pela tecnologia SLA apresentaram menores valores de rugosidade de superfície, similares àquelas obtidas através de resina bis acrílica. Ao final do período de envelhecimento, o grupo impresso com orientação de 0° foi o que apresentou a menor rugosidade, confirmando a sua vantagem em

relação às outras orientações de impressão testadas, tanto sem o envelhecimento, quando após o envelhecimento.

Não houve influência da angulação de impressão nos resultados de microdureza, que foram semelhantes estatisticamente para todos os três grupos antes do envelhecimento. Após o envelhecimento, somente o grupo de 45° apresentou resultados significativamente maiores. Nesta avaliação, somente a variável envelhecimento apresentou influência significativa na microdureza. A maior rugosidade do grupo de 45° parece estar diretamente relacionada a sua menor microdureza. A provável e esperada absorção de água pós envelhecimento pode ter contribuído para este comportamento.

No presente estudo in vitro foram realizados testes em corpos de prova no formato de barras, o que não representa situações clínicas reais, que apresentam formas mais complexas e diferentes orientações de força. O protocolo de envelhecimento por termociclagem ou por simulador de mastigação procuram reproduzir situações reais do ambiente e da mecânica intra oral (8,9). Contudo, a utilização de formas simples e de força unidirecional favorecem as análises propostas no presente trabalho, nos momentos sem e após o envelhecimento.

Além da angulação de impressão e do envelhecimento, vários fatores podem influenciar nas propriedades mecânicas dos materiais de impressão, entre eles: composição das resinas, tecnologia de impressão, espessura de camada, formatos mais simples e mais complexos de impressão, grau de polimerização, distância entre as camadas, intensidade da fonte de luz, técnicas de pós cura. Com isso, existem várias combinações de fatores a serem pesquisados e discutidos, bem como diferentes protocolos de envelhecimento, para que condições mais próximas das aplicações clínicas possam ser evidenciadas em trabalhos científicos futuros.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a angulação de impressão em 0° possibilitou a confecção de corpos de prova com resina de impressão 3D para provisórias com melhores propriedades mecânicas e menor rugosidade. Embora este grupo tenha apresentado a maior perda percentual da resistência à flexão após o envelhecimento, esta permaneceu dentro de valores compatíveis com o uso clínico e semelhante aos outros grupos. A orientação de impressão, o envelhecimento e a interação entre os dois fatores foram significativos na resistência a flexão e na rugosidade.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Anderson Sérgio Martins: Investigação, Redação - Rascunho Original e Edição.

Nádia Vieira Queiroz: Investigação e Redação.

Alberto Nogueira da Gama Antunes: Metodologia, Análise Formal, Redação - Revisão, Supervisão.

Frederico Santos Lages: Execução do protocolo de termociclagem, Redação.

Vinícius de Magalhães Barros: Conceituação, Metodologia, Análise Formal, Redação – Revisão, Supervisão.

SUPORTE FINANCEIRO

O presente estudo teve financiamento dos próprios autores.

Não há conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

- 1- Richter WA, Ueno H. Relationship of crown margin placement to gingival inflammation. *J Prosthet Dent.* 1973; 30: 156-61. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(73\)90050-4](https://doi.org/10.1016/0022-3913(73)90050-4).
- 2- Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D printing in dentistry-State of the art. *Oper Dent.* 2020; 45: 30-40.
- 3- Revilla-León M, Meyers MJ, Zandinejad A, Özcan M. A review on chemical composition, mechanical properties, and manufacturing work flow of additively manufactured current polymers for interim dental restorations. *J Esthet Restor Dent.* 2019; 31: 51-57. <https://doi.org/10.1111/jerd.12438>.
- 4- Puebla K, Arcaute K, Quintana R, Wicker RB. Effects of environmental conditions, aging, and build orientations on the mechanical properties of ASTM type I specimens manufactured via stereolithography. *Rapid Prototyping J.* 2012; 18: 374-388. <http://doi.org/10.1108/13552541211250373>.
- 5- Shim JS, Kim JE, Jeong SH, Choi YJ, Ryu JJ. Printing accuracy, mechanical properties, surface characteristics, and microbial adhesion of 3D-printed resins with various printing orientations. *J Prosthet Dent.* 2020; 124: 468-475. <http://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.05.034>.
- 6- Unkovskiy A, Bui PH, Schille C, Geis-Gerstorfer J, Huettig F, Spintzyk S. Objects build orientation, positioning, and curing influence dimensional accuracy and flexural properties of stereo lithographically printed resin. *Dent Mater.* 2018; 34: e324-e333. <http://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.011>.
- 7- 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 Invest.* 2020; 24: 701-710. <https://doi.org/10.1007/s00784-019-02952-7>.
- 8- Scherer MD, Barmak AB, Özcan M, Revilla-León M. Influence of postpolymerization methods and artificial aging procedures on the fracture resistance and flexural strength of a vat-polymerized interim dental material. *J Prosthet Dent.* 2022; 128: 1085-1093. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.02.017>.
- 9- Giugovaz A, Pérez-Giugovaz MG, Al-Haj Husain N, Barmak AB, Özcan M, Revilla-León M. Flexural strength of aged and nonaged interim materials fabricated by using milling,

- additive manufacturing, and a combination of subtractive and additive methods. *J Prosthet Dent.* 2022; 128: 513.e1-513.e11. [https://doi: 10.1016/j.prosdent.2022.05.004](https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.05.004).
- 10- Simoneti DM, Pereira-Cenci T, dos Santos MBF. Comparison of material properties and biofilm formation in interim single crowns obtained by 3D printing and conventional methods. *J Prosthet Dent.* 2022; 127: 168-172. <http://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.06.026>.
 - 11- Scotti CK, Velo MMAC, Rizzante FAP, Nascimento TRL, Mondelli RFL, Bombonatti JFS. Physical and surface properties of a 3D-printed composite resin for a digital workflow. *J Prosthet Dent.* 2020; 124: 614.e1-614.e5. [https://doi: 10.1016/j.prosdent.2020.03.029](https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.03.029).
 - 12- Bezerra MGPG. Influência da angulação e espessura da camada de impressão na resistência à flexão, estabilidade dimensional e rugosidade de uma resina impressa. 2022. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências Odontológicas) – Programa de Pós-graduação em Ciências Odontológicas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
 - 13- Alharbi N, Osman R, Wismeijer D. Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. *J Prosthet Dent.* 2016; 115: 760-767. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.12.002>.
 - 14- 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. *Polymers (Basel).* 2022; 14: 2691. [https://doi: 10.3390/polym14132691](https://doi.org/10.3390/polym14132691).
 - 15- Nold J, Wesemann C, Rieg L, Binder L, Witkowski S, Spies BC, *et al.* Does printing orientation matter? in-vitro fracture strength of temporary fixed dental prostheses after a 1-year simulation in the artificial mouth. *Materials (Basel).* 2021; 14: 259. <http://doi.org/10.3390/ma14020259>.
 - 16- Waltimo A, Könönen M. Maximal bite force and its association with signs and symptoms of craniomandibular disorders in young finnish non-patients. *Acta Odontol Scand.* 1995; 53:254-258. <https://doi.org/10.3109/00016359509005982>.
 - 17- Mickeviciute E, Ivanauskiene E, Noreikiene V. In vitro color and roughness stability of different temporary restorative materials. *Stomatologija.* 2016; 18: 66-72.
 - 18- Quirynen M, van der Mei HC, Bollen CM, Schotte A, Marechal M, Doornbusch GI, *et al.* An in vivo study of the influence of the surface roughness of implants on the microbiology of supra- and subgingival plaque. *J Dent Res.* 1993; 72: 1304-1309.

- 19- Chung YJ, Park JM, Kim TH, Ahn JS, Cha HS, Lee JH. 3D printing of resin material for denture artificial teeth: chipping and indirect tensile fracture resistance. *Materials (Basel)* 2018; 11: 1798.
- 20- Molinero-Mourelle P, Canals S, Gomez-Polo M, Sola-Ruiz MF, Del Rio Highsmith J, Vinuela AC. Polylactic acid as a material for three-dimensional printing of provisional restorations. *Int J Prosthodont.* 2018; 31: 349-50.

Tabela 1. Valores médios, de desvio padrão e percentual dos grupos antes e após envelhecimento

	G1 – 0 graus	G2 – 45 graus	G3 – 90 graus	G1 – 0 graus (termo)	G2 – 45 graus (termo)	G3 – 90 graus (termo)
Resistência à flexão (N/mm ²)	236,20 (29,73)a	155,80 (36,19)b	138,70 (48,20)b	92,98 (29,38)b	123,50 (34,43)b	119,30 (19,95)b
Resistência à flexão (%)	100	100	100	39,36	79,26	86,01
Rugosidade (ra)	0,10 (0,06)a	1,62 (0,55)b	0,97 (0,22)c	0,30 (0,18)a	3,75 (0,43)d	1,38 (0,60)c
Dureza Vickers (hv)	20,30 (4,01)a	21,80 (2,25)a	21,00 (3,92)a	18,32 (0,75)a	13,80 (1,21)b	17,60 (4,02)a

Linhas com as mesmas letras são semelhantes estatisticamente ($p > 5\%$) (ANOVA 2 fatores seguido por teste de Sidak).

LEGENDA DAS FIGURAS

Figura 1. Imagem original do software utilizado (Meshmixer- Autodesk Inc, EUA.), exemplificando as angulações de impressão dos corpos de prova que foram impressos.

Figura 2. Fotografia dos corpos de prova sobre a base após impressão. Camadas impressas a 0, 45 e 90 graus em relação a base de impressão.

Figura 3. Resistência à flexão dos grupos 0, 45 e 90⁰, sem e após o envelhecimento. Barras com as mesmas letras são estatisticamente semelhantes ($p>5\%$) (ANOVA 2 fatores seguido por teste de Sidak).

Figura 4. Rugosidade aritmética dos grupos 0, 45 e 90⁰, sem e após o envelhecimento. Barras com as mesmas letras são estatisticamente semelhantes ($p>5\%$) (ANOVA 2 fatores seguido por teste de Sidak).

Figura 5. Dureza Vickers dos grupos 0, 45 e 90⁰, sem e após o envelhecimento. Barras com as mesmas letras não estatisticamente semelhantes ($p>5\%$) (ANOVA 2 fatores seguido por teste de Sidak).

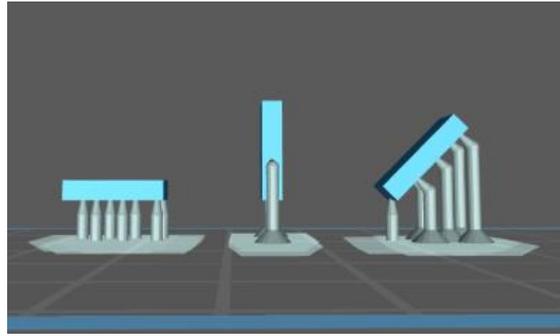


Figura 1.



Figura 2.

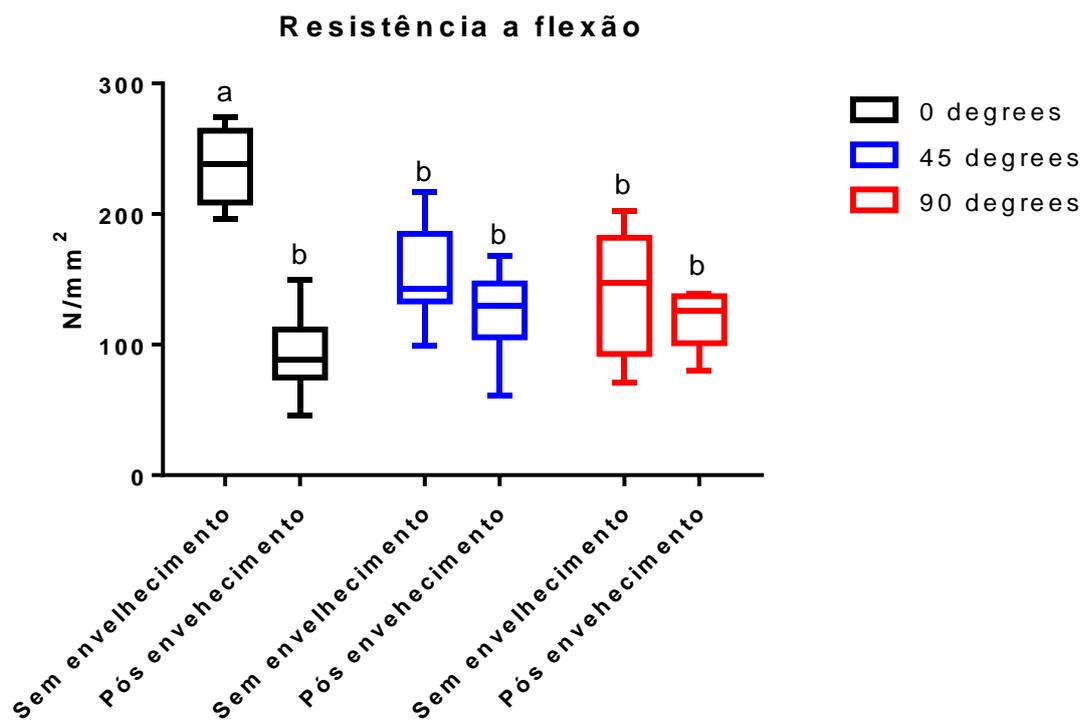


Figura 3.

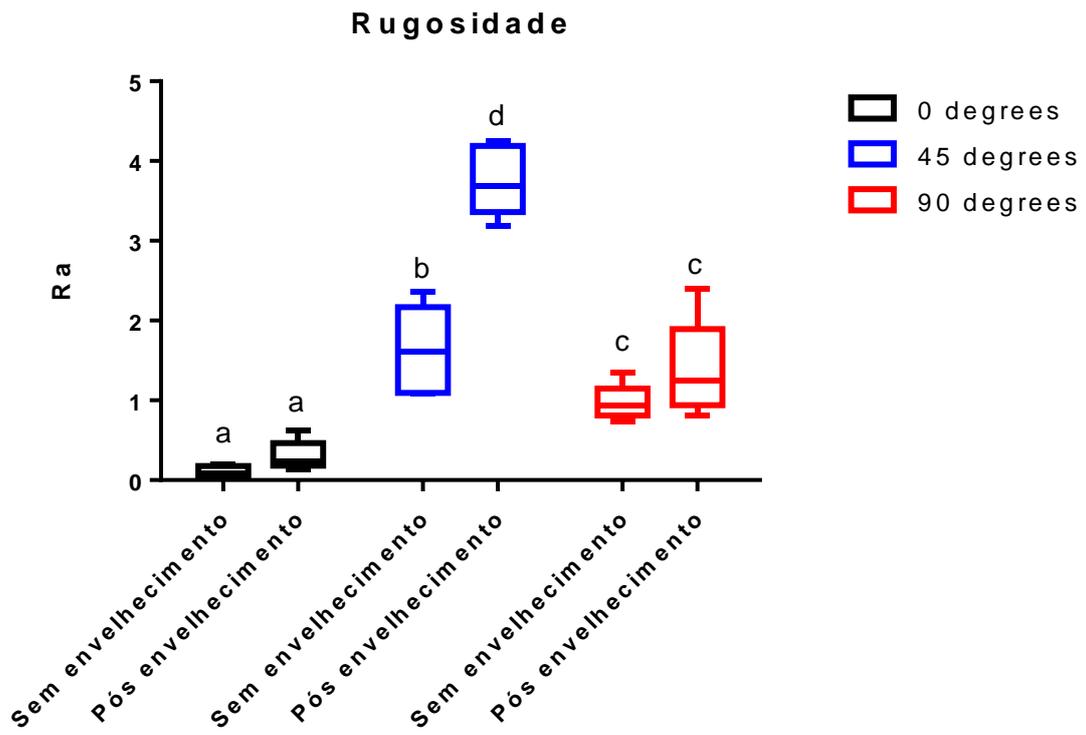


Figura 4.

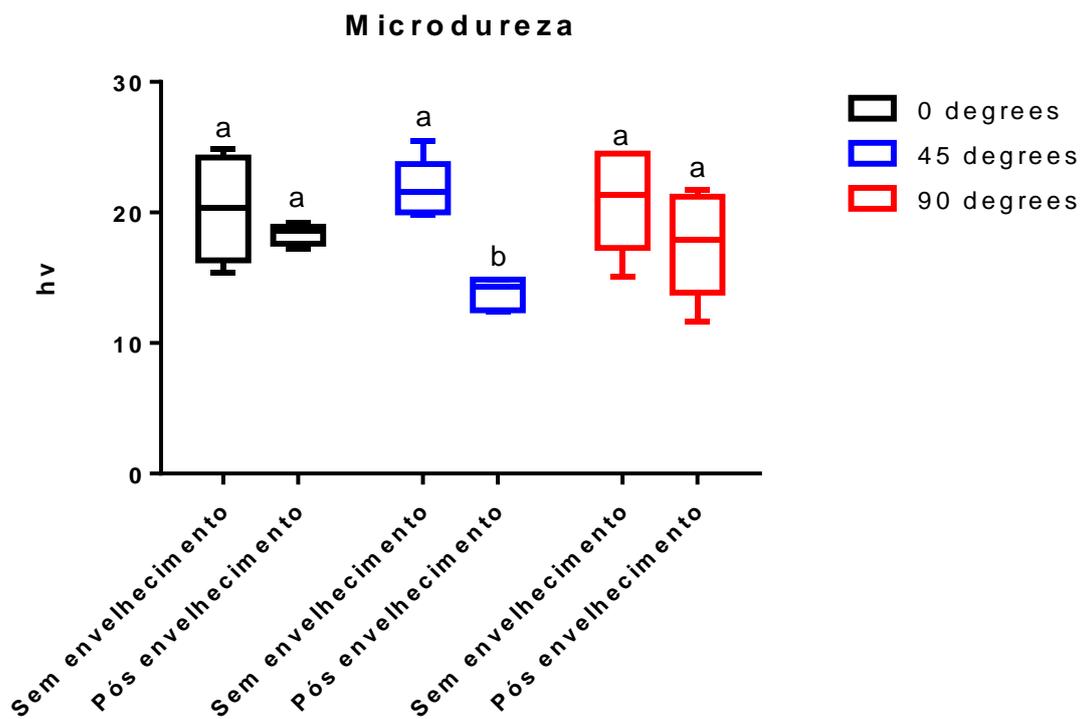


Figura 5.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após análise dos testes realizados, observamos que o comportamento do material após envelhecimento pode sugerir alterações significativas na prática clínica. Maiores estudos devem ser realizados para adequar situações de uso e maior estabilidade do material

O parâmetro testado que sofreu mais influência do processo de envelhecimento foi a resistência à flexão dos espécimes impressos em 0° . Curiosamente essa orientação de impressão apresentou o melhor desempenho antes da termociclagem, não só na resistência à flexão, como também na microdureza e rugosidade superficial. O porquê da redução da resistência após o envelhecimento para o grupo de 0° em comparação com os grupos impressos em 45° e 90° ter sido proporcionalmente maior, deverá ser alvo de maiores pesquisas.

Em relação à microdureza Vickers foi observado que a termociclagem e a angulação de impressão não apresentaram alterações estatisticamente relevantes.

A rugosidade superficial é um diferencial na escolha de um material temporário, pois contribui para manutenção dos tecidos adjacentes, garantindo saúde e longevidade. Observou-se que os espécimes impressos a 0° obtiveram menor rugosidade dos três grupos analisados, mesmo sofrendo pequena redução após o protocolo de envelhecimento.

A tecnologia de impressão 3D está cada vez mais presente na prática odontológica. Sendo assim, diversos outros trabalhos deverão ser realizados com o objetivo de obtermos mais informações e resultados relevantes para a prática clínica.

REFERÊNCIAS

- GIUGOVAZ, A. *et al.* Flexural strength of aged and nonaged interim materials fabricated by using milling, additive manufacturing, and a combination of subtractive and additive methods. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 128, n. 3, p. 513.e1-513.e11, Sept. 2022.
- KESSLER, A.; HICKEL, R.; REYMUS, M. 3D printing in dentistry-State of the art. **Operative Dentistry**, v. 45, n. 1, p. 30-40, 2020.
- PUEBLA, K. *et al.* Effects of environmental conditions, aging, and build orientations on the mechanical properties of ASTM type I specimens manufactured via stereolithography. **Rapid Prototyping Journal**, v. 18, n. 5, p. 374-388, July 2012.
- REVILLA-LEÓN, M. *et al.* A review on chemical composition, mechanical properties, and manufacturing work flow of additively manufactured current polymers for interim dental restorations. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 31, n. 1, p. 51-57, Jan. 2019.
- REYMUS, M. *et al.* 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. **Clinical Oral Investigations**, v. 24, n. 2, p. 701-710, Feb. 2020.
- RICHTER, W. A.; UENO, H. Relationship of crown margin placement to gingival inflammation. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 30, n. 2, p. 156-161, Aug. 1973.
- SCHERER, M. D. *et al.* Influence of postpolymerization methods and artificial aging procedures on the fracture resistance and flexural strength of a vat-polymerized interim dental material. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 128, n. 5, p. 1085-1093, Nov. 2022.
- SHIM, J. S. *et al.* Printing accuracy, mechanical properties, surface characteristics, and microbial adhesion of 3D-printed resins with various printing orientations. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 124, n. 4, p. 468-475, Oct. 2020.
- SIMONETI, D. M.; PEREIRA-CENCI, T.; SANTOS, M. B. F. Comparison of material properties and biofilm formation in interim single crowns obtained by 3D printing and conventional methods. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 127, n. 1, p. 168-172, Jan. 2022.
- UNKOVSKIY, A. *et al.* Objects build orientation, positioning, and curing influence dimensional accuracy and flexural properties of stereo lithographically printed resin. **Dental Materials**, v. 34, n. 12, p. e324-e333, Dec. 2018.