

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

Nádia Vieira Queiroz

**EFEITO DA ANGULAÇÃO DE IMPRESSÃO NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO,
MICRODUREZA E RUGOSIDADE SUPERFICIAL DE RESINA DE IMPRESSÃO 3D
PARA RESTAURAÇÕES PROVISÓRIAS**

Belo Horizonte

2022

Nádia Vieira Queiroz

**EFEITO DA ANGULAÇÃO DE IMPRESSÃO NA RESISTÊNCIA À 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. Linha de Pesquisa: Propriedades biomecânicas, físico-químicas e biocompatibilidade dos biomateriais e materiais odontológicos.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius de Magalhães Barros

Belo Horizonte

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Q3e Queiroz, Nádia Vieira
Efeito da angulação de impressão na resistência à flexão, microdureza e rugosidade superficial de resina de impressão 3D para restaurações provisórias / Nádia Vieira Queiroz. Belo Horizonte, 2022.
52 f.

Orientador: Vinícius de Magalhães Barros

Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Odontologia

1. Restauração (Odontologia). 2. Restauração dentária temporária. 3. Resinas dentárias. 4. Impressão tridimensional. 5. Teste de materiais (Odontologia). 6. Propriedades de superfície. 7. Resistência de materiais. I. Barros, Vinícius de Magalhães. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. III. Título.

CDU: 616.314-08

Nádia Vieira Queiroz

**EFEITO DA ANGULAÇÃO DE IMPRESSÃO NA RESISTÊNCIA À 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. Emmerson Moisés Reis – PUC Minas
- 3- Prof. Dr. Vinícius de Magalhães Barros – PUC Minas

DATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA: 15 de dezembro de 2022

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**

*À minha família pelo incentivo,
em especial ao meu companheiro de longa data e aos meus filhos,
minhas inspirações.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Vinícius de Magalhães Barros, que tornou possível a realização deste trabalho. Ao Prof. Dr. Alberto Nogueira da Gama Antunes, que contribuiu elucidando os caminhos para a realização desta pesquisa.

A todos que, de alguma forma contribuíram para a realização desta construção.

RESUMO

Em meio a várias técnicas e inúmeros parâmetros de impressão em resinas 3D, a obtenção de restaurações que apresentem as melhores condições de resistência e biocompatibilidade são quesitos importantes na escolha de materiais. Dentre os diversos parâmetros de impressão, destaca-se a angulação das camadas em relação à base da impressora. Neste estudo *in vitro* avaliou-se a influência de três angulações (0° , 45° e 90°) nas propriedades mecânicas e características superficiais dos espécimes produzidos por uma impressora 3D com tecnologia DLP/LCD e resina para restaurações provisórias. Foram produzidas 10 barras ($4 \times 2 \times 10$ mm) para cada grupo experimental ($n=10$), desenhadas no software Meshmixer e impressas em impressora 3D. As barras foram submetidas ao teste de flexão em 3 pontos, sem qualquer período de envelhecimento, em máquina de ensaio universal e a rugosidade superficial aferida por perfilômetro de contato. A microdureza foi aferida por microdurômetro e a superfície dos corpos de prova foi avaliada por microscópio eletrônico de varredura. A resistência a flexão do grupo de 0° ($236,20 \pm 29,73$) foi significativamente maior do que os de 45° ($155,80 \pm 36,19$) e 90° ($138,70 \pm 48,20$). Da mesma forma, a rugosidade superficial do grupo de 0° ($0,10 \pm 0,06$) foi significativamente menor do que os de 45° ($1,62 \pm 0,55$) e 90° ($0,97 \pm 0,22$). A microdureza foi semelhante entre os grupos. Concluiu-se que a angulação de 0 graus, proporcionando a deposição das camadas no objeto impresso de forma que elas se orientem perpendicularmente à direção de aplicação de forças, resultou na melhor resistência à flexão e menor rugosidade, o que poderá contribuir para um melhor comportamento clínico.

Palavras-chave: Impressão 3D. Resistência à flexão. Estereolitografia.

ABSTRACT

Between of various techniques and numerous printing parameters in 3D resins, obtaining restorations that present the best resistance and biocompatibility conditions are important aspects when choosing materials. Among the various printing parameters, the angle of the layers in relation to the base of the printer stands out. In this in vitro study, the influence of three angulations (0° , 45° and 90°) on the mechanical properties and surface characteristics of specimens produced by a 3D printer with DLP/LCD technology and resin for temporary restorations was evaluated. Ten bars ($4 \times 2 \times 10$ mm) were produced for each experimental group ($n=10$), designed in the Meshmixer software and printed on a 3D printer. The bars were submitted to a 3-point bending test, without any period of aging, in a universal testing machine and the surface roughness was measured by a contact profilometer. The microhardness was measured by a microdurometer and the surface of the specimens was evaluated by a scanning electron microscope and its surface. Flexural strength 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) groups. Likewise, the surface roughness of the 0° (0.10 ± 0.06) group was significantly smaller than that of the 45° (1.62 ± 0.55) and 90° (0.97 ± 0.22). Microhardness and surface, were similar between groups. It was concluded that the angle of 0 degrees, providing the deposition of the layers on the printed object so that they are oriented perpendicularly to the direction of application of forces, resulted in better resistance to flexion and less roughness, which may contribute to a better behavior clinical.

Keywords: Three-dimensional printing. Flexural strength. Stereolithography.

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	25
Figura 3: Fotografia do teste de flexão em 3 pontos em máquina de ensaio universal	27
Figura 4: À esquerda fotografia da tela do computador anexado ao microdurômetro (Shimadzu, Série HMV-G, Japão), à direita, demonstrando uma edentação realizada em um dos corpos de prova que compunham o teste	28
Figura 5: Fotografia realizada no momento do teste, em que 5 espécimes foram posicionados sobre uma base de teste. A haste na imagem representa a ponta do perfilômetro de contato ..	29
Figura 6: Fotografia do microscópio eletrônico de varredura	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
EDS	Energy dispersive ou Espectroscopia de raios X por energia dispersiva
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 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 Variável independente e grupos experimentais	25
3.2 Testes de resistência à flexão	26
3.3 Avaliação da microdureza	27
3.4 Avaliação da superfície e sua rugosidade	28
3.5 Microscopia eletrônica de varredura.....	29
3.6 Análise estatística.....	30
4 ARTIGO CIENTÍFICO.....	31
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A utilização de técnicas de manufatura aditivas ou impressão 3D vêm sendo aplicadas com mais frequência a cada dia no cenário da reabilitação odontológica, seja para confecção de restaurações temporárias, bases para próteses totais e dentes, próteses buco maxilo faciais, alinhadores ortodônticos, guias cirúrgicos e implantes dentais (OBEROI *et al.*, 2018) e (ALEXANDRU *et al.*, 2017). Dentre as diversas tecnologias de manufatura aditiva, as três tecnologias mais utilizadas em odontologia estão relacionadas ao uso de fotoativação: a esteriolitografia a laser (SLA), injeção de um fotopolímero e ativação por luz (DLP) (JOCKUSCH; ÖZCAN, 2020).

A quantidade de resinas para impressão de restaurações temporárias disponíveis no mercado vem aumentando rapidamente. Para Revilla-León *et al.* (2019), de uma forma geral, elas podem ser classificadas de acordo com sua composição química em dois tipos: resina acrílicas ou com compostos de monometacrilatos e resinas bisacrílicas ou compostas por dimetacrilatos. Além da tecnologia utilizada e das características das resinas, diversos parâmetros interferem nos resultados finais alcançados pela manufatura aditiva, dentre eles destacam-se: a espessura da camada e o ângulo de impressão (SHIM *et al.*, 2020).

As coras provisórias/temporárias são de extrema importância no condicionamento tecidual, restabelecimento da oclusão, funções mastigatórias e estéticas em reabilitações implanto-suportadas. Com as técnicas convencionais de obtenção de restaurações temporárias, utilizando-se resina acrílica e resina bis-acrílica, obtém-se biocompatibilidade, boa estética e estabilidade no meio bucal. Porém estes materiais e técnicas são dependentes da habilidade do dentista, da assistente ou protético para que seus resultados sejam promissores (ARORA *et al.*, 2018; HOLMER *et al.*, 2019). As técnicas digitais de obtenção destas restaurações podem contribuir para a redução de erros, consequentemente tempo de tratamento e economia de material, devido à acurácia dos resultados (TAHAYERI *et al.*, 2018).

Características como boa adaptação marginal e baixa rugosidade superficial favorecem a resposta tecidual em torno de restaurações temporárias. Uma prótese com alta rugosidade e energia de superfície é potencialmente mais vulnerável ao acúmulo de placa e mais susceptível às consequências danosas desse acúmulo (CHOI *et al.*, 2016; VON FRAUNHOFER; LOEWY, 2009). É sabido que a adesão de microrganismos na superfície das restaurações em prótese sobre implante é um fator que pode ser controlado, porém ainda não podemos eliminá-lo. Deste modo a acurácia da adaptação, diminuição de gap e condicionamento gengival das próteses unitárias sobre implantes são fatores que devem ser preponderantes na escolha de novas

técnicas de obtenção das restaurações (BIDRA; TAYLOR; AGAR, 2013; KATTADIYIL *et al.*, 2015).

No presente estudo iremos avaliar as propriedades do material, resistência a flexão, rugosidade e microdureza de diferentes superfícies de resina para restaurações temporárias obtidas por manufatura aditiva, variando-se a o ângulo de impressão. A hipótese nula a ser testada é de que a orientação de impressão não influencia nas propriedades mecânicas e características superficiais da resina de impressão 3D.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência da angulação de impressão (0, 45 e 90 graus de inclinação) nas propriedades mecânicas e características superficiais de uma resina impressa para restaurações provisórias utilizando tecnologia DLP/LCD.

2.2 Objetivos específicos

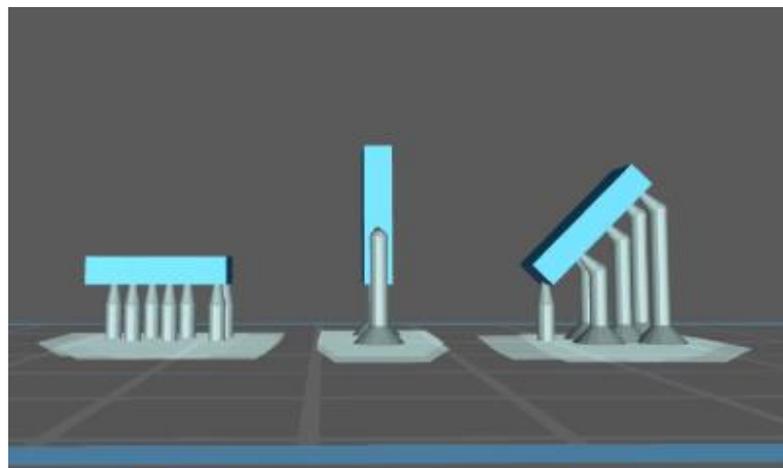
- a) avaliar e comparar a resistência a flexão, microdureza e rugosidade nas três diferentes angulações de impressão.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Variável independente e grupos experimentais

A variável independente orientação de impressão foi testada nesse trabalho, em três diferentes níveis: 0, 45 e 90 graus de inclinação em relação à base de impressão.

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



Fonte: Laboratório Dr. Cad Cam (2022)

Figura 2: Corpos de prova sobre a base após impressão



Legenda: Camadas impressas a 0, 45 e 90 graus em relação a base de impressão

Fonte: Laboratório Dr. Cad Cam (2022)

Corpos de provas no formato de barras, de dimensões: 4x2x10 mm, foram produzidos por manufatura aditiva conforme descrito por (SIMONETI; PEREIRA-CENCI; SANTOS, 2022), 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) (SHIM *et al.*, 2020). Foram produzidas 10 barras para cada um dos grupos experimentais, que foram submetidos aos testes mecânicos sem qualquer período de envelhecimento.

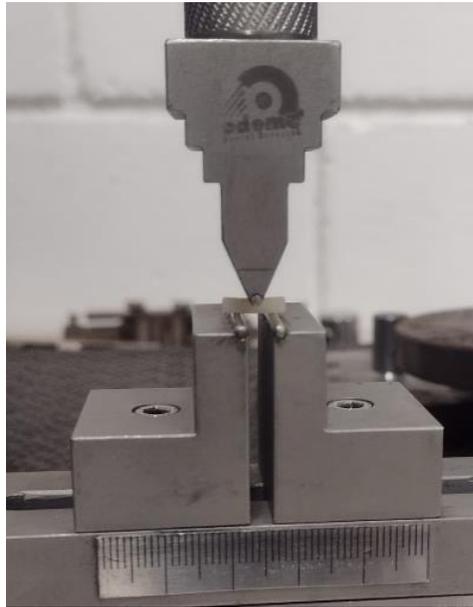
Os corpos de prova foram desenhados no software Meshmixer (Autodesk Inc, EUA) e na sequência preparados para impressão 3D utilizando-se o software CHITUBOX (CBD- Tech, China).

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: LCDMSLA e com espessura da camada de 0,05mm e mesma resina para restaurações temporárias para impressão 3D (Printax -AA Temp), na cor BL. Para impressão 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. As barras foram removidas cuidadosamente das bases de impressão com disco diamantado e separadas conforme angulação de impressão.

3.2 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. 3).

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

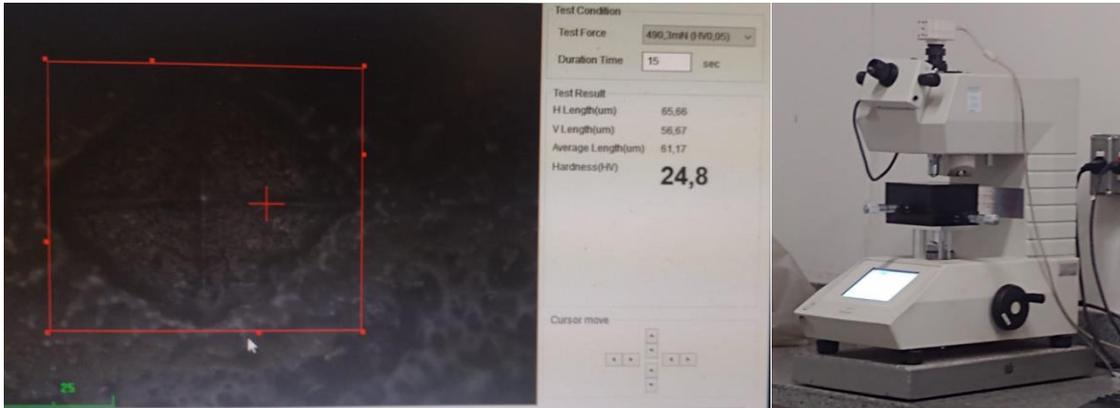


Fonte: Elaborado pela autora

3.3 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. 4).

Figura 4: À esquerda fotografia da tela do computador anexado ao microdurômetro (Shimadzu, Série HVM-G, Japão), à direita, demonstrando uma edentação realizada em um dos corpos de prova que compunham o teste



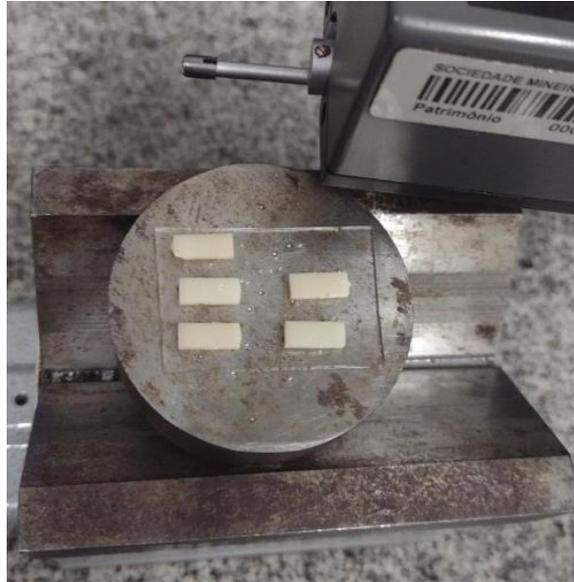
Fonte: Elaborado pela autora

3.4 Avaliação da superfície e sua 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 01 leitura para cada um dos espécimes. O parâmetro de rugosidade aritmética (Ra) foi o resultado da média/mediana dessas cinco medidas (SIMONETI; PEREIRA-CENCI; SANTOS, 2022).

As superfícies das barras em diferentes angulações também foram analisadas nos diferentes aumentos por imagens obtidas pelo MEV.

Figura 5: Fotografia realizada no momento do teste, em que 5 espécimes foram posicionados sobre uma base de teste. A haste na imagem representa a ponta do perfilômetro de contato



Fonte: Elaborado pela autora

3.5 Microscopia eletrônica de varredura

As avaliações por microscopia eletrônica de varredura foram realizadas no laboratório do departamento de Engenharia da PUC Minas Coração Eucarístico. Dos mesmos fragmentos de cada espécime de todos os grupos experimentais, foram selecionados aleatoriamente 3 fragmentos, para avaliação qualitativa da superfície por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (JEOL modelo IT300, Japão) usando aumentos de 100, 500 e 1000 vezes. Utilizou-se os seguintes parâmetros para obtenção das imagens em alto vácuo: voltagem: 20kv; distância da amostra: 9.8 mm; abertura da lente: 50.0, vácuo: alto.

Figura 6: Fotografia do microscópio eletrônico de varredura



Fonte: Elaborado pela autora

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 medias e desvios-padrão.

Para comparação inicial do efeito da angulação de impressão, as 3 diferentes angulações foram comparadas com teste de análise de variância (ANOVA) e na sequência, comparados entre dois grupos pelo teste de Tukey.

4 ARTIGO CIENTÍFICO

Efeito da angulação de impressão na resistência à flexão, microdureza e rugosidade superficial de resina de impressão 3D para restaurações provisórias

Artigo a ser submetido ao Periódico **Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada** (Qualis Odontologia A4)

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

<https://www.scielo.br/journal/pboci/about/#instructions>

Efeito da angulação de impressão na resistência à flexão, microdureza e rugosidade superficial de resina de impressão 3D para restaurações provisórias

Queiroz, Nádia Vieira ¹; Martins, Anderson Sérgio ²; Antunes, Alberto Nogueira da Gama ³; Barros, Vinícius de Magalhães ⁴.

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

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

³ Departamento de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

⁴ Departamento de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

Autores:

Nádia Vieira Queiroz. Telefone: +55 31 99702-2664. ORCID: 0000-0002-0617-3733
E-mail: nadiavqueiroz@hotmail.com

Anderson Sérgio Martins. Telefone: +55 31 99131-0655. ORCID: 0000-0002-0600-4286
E-mail: andsmartins@yahoo.com.br

Alberto Nogueira Gama. Telefone +55 31 99587-5312. ORCID: 0000-0003-4554-7440
E-mail: antunes1978@gmail.com

Vinícius Magalhães de Barros. Telefone +55 31 99119-5929. ORCID: 0000-0002-2633-010X
E-mail: viniciusmbarros@gmail.com

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/MG, Brasil. Telefone: +55 31 3319-4414. E-mail: viniciusmbarros@gmail.com

Resumo

Introdução: Em meio a várias técnicas e inúmeros parâmetros de impressão em resinas 3D, a obtenção de restaurações que apresentem as melhores condições de resistência e biocompatibilidade são quesitos importantes na escolha de materiais. Dentre os diversos parâmetros de impressão, destaca-se a angulação das camadas em relação à base da impressora. Neste estudo *in vitro* avaliou-se a influência de três angulações (0° , 45° e 90°) nas propriedades mecânicas e características superficiais dos espécimes produzidos por uma impressora 3D com tecnologia DLP/LCD e resina para restaurações provisórias. **Métodos:** Foram produzidas 10 barras (4x2x10 mm) para cada grupo experimental (n=10), desenhadas no software Meshmixer e impressas em impressora 3D. As barras foram submetidas ao teste de flexão em 3 pontos, sem qualquer período de envelhecimento, em máquina de ensaio universal e a rugosidade superficial aferida por perfilômetro de contato. A microdureza foi aferida por microdurômetro e a superfície dos corpos de prova foi avaliada por microscópio eletrônico de varredura. **Resultados:** 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). Da mesma forma, 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. **Conclusão:** Concluiu-se que a angulação de 0 graus, proporcionando a deposição das camadas no objeto impresso de forma que elas se orientem perpendicularmente à direção de aplicação de forças, resultou na melhor resistência à flexão e menor rugosidade, o que poderá contribuir para um melhor comportamento clínico.

Palavras chave: Impressão 3D, Resistência à flexão, Estereolitografia.

Introdução

A utilização de técnicas de manufatura aditivas ou impressão 3D vêm sendo aplicadas com mais frequência a cada dia no cenário da reabilitação odontológica, seja para confecção de restaurações temporárias, bases para próteses totais e dentes, próteses buco maxilo faciais, alinhadores ortodônticos, guias cirúrgicos e implantes dentais [1,2]. Dentre as diversas tecnologias de manufatura aditiva, as três tecnologias mais utilizadas em odontologia estão relacionadas ao uso de fotoativação: a esteriolitografia a laser (SLA), injeção de um fotopolímero e ativação por luz (DLP) [3]. A quantidade de resinas para impressão de restaurações temporárias disponíveis no mercado vem aumentando rapidamente. De uma forma geral, elas podem ser classificadas de acordo com sua composição química em dois tipos: resina acrílicas ou com compostos de monometacrilatos e resinas bisacrílicas ou compostas por dimetacrilatos [4]. Além da tecnologia utilizada e das características das resinas, diversos parâmetros interferem nos resultados finais alcançados pela manufatura aditiva, dentre eles destacam-se: a espessura da camada e o ângulo de impressão [5]. As coras provisórias/temporárias são de extrema importância no condicionamento tecidual, restabelecimento da oclusão, funções mastigatórias e estéticas em reabilitações implanto-suportadas. Com as técnicas convencionais de obtenção de restaurações temporárias, utilizando-se resina acrílica e resina bis-acrílica, obtém-se biocompatibilidade, boa estética e estabilidade no meio bucal. Porém estes materiais e técnicas são dependentes da habilidade do dentista, da assistente ou protético para que seus resultados sejam promissores [6,7]. As técnicas digitais de obtenção destas restaurações podem contribuir para a redução de erros, conseqüentemente tempo de tratamento e economia de material, devido à acurácia dos resultados [8].

Características como boa adaptação marginal e baixa rugosidade superficial favorecem a resposta tecidual em torno de restaurações temporárias. Uma prótese com alta rugosidade e energia de superfície é potencialmente mais vulnerável ao acúmulo de placa e mais susceptível às conseqüências danosas desse acúmulo [9,10]. É sabido que a adesão de microrganismos na superfície das restaurações em prótese sobre implante é um fator que pode ser controlado, porém ainda não podemos eliminá-lo. Deste modo a acurácia da adaptação, diminuição de gap e condicionamento gengival das próteses unitárias sobre implantes são fatores que devem ser preponderantes na escolha de novas técnicas de obtenção das restaurações [11,12].

No presente estudo iremos avaliar as propriedades do material, resistência a flexão, rugosidade e microdureza de diferentes superfícies de resina para restaurações temporárias

obtidas por manufatura aditiva, variando-se a o ângulo de impressão. A hipótese nula a ser testada é de que a orientação de impressão não influencia nas propriedades mecânicas e características superficiais da resina de impressão 3D.

Materiais e Métodos

Variável independente e grupos experimentais

A variável independente orientação de impressão foi testada nesse trabalho, em três diferentes níveis: 0, 45 e 90 graus de inclinação em relação à base de impressão.

Corpos de provas no formato de barras, de dimensões: 4x2x10 mm, foram produzidos por manufatura aditiva conforme descrito [13], 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 10 barras para cada um dos grupos experimentais, que foram submetidos aos testes mecânicos sem qualquer período de envelhecimento. Os corpos de prova foram desenhados no software Meshmixer (Autodesk Inc, EUA) (Figura 1) e na sequência preparados para impressão 3D utilizando-se o software CHITUBOX (CBD- Tech, China) (Figura 2). 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. Para impressão 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. 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 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 superfície e sua 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) sendo realizada 01 leitura para cada um dos espécimes. O parâmetro de rugosidade aritmética (Ra) foi o resultado da média/mediana dessas cinco medidas [13].

Microscopia eletrônica de varredura

Foram selecionados aleatoriamente 3 fragmentos de todos os grupos experimentais para avaliação qualitativa da superfície por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (JEOL modelo IT300, Japão) usando aumentos de 100, 500 e 1000 vezes. Utilizou-se os seguintes parâmetros para obtenção das imagens em alto vácuo: Voltagem: 20 kv; distância da amostra: 9.8 mm; abertura da lente: 50.0, vácuo: alto.

Análise estatística

Os dados apresentaram distribuição normal, aferida com teste Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk e foram representados pelas médias 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 (ANOVA), seguido do teste de Tukey (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 (Tabela 1).

Resistência à flexão

Após os testes de flexão foi observado que os corpos 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 graus (Figura 3).

Os grupos com as três diferentes angulações de impressão (0° , 45° e 90°) apresentaram dureza Vickers semelhantes estatisticamente (Figura 3).

Em relação à rugosidade superficial, os três grupos apresentaram valores significativamente diferentes. O grupo de angulação 45 graus apresentou a maior rugosidade, seguido do grupo de 90 graus. Já o grupo de 0 graus apresentou a menor rugosidade superficial (Figura 3).

Análise das imagens no MEV

As imagens da coluna A na figura 4 são as imagens com o aumento de 100 x dos corpos de prova intactos que não passaram pelo ensaio, é possível observar a direção de impressão programada para cada angulação em que as barras foram impressas. As linhas são mais paralelas entre si e representam a forma de produção da estrutura. Na coluna B, observam-se imagens obtidas em MEV com aumento de 1000 x após ensaio de flexão na região fraturada da resina impressa por tecnologia 3D. É possível notar dois padrões morfológicos. Em 1, é observado que linhas quase paralelas entre si estão presentes. Estas são o resultado da deposição do material impresso e que depois foi submetido ao esforço de compressão (local onde houve contato com a ponta superior do dispositivo usado para o ensaio de flexão). Essa compressão local pode ter causado um discreto esmagamento de cada camada impressa, o que resulta na falta de paralelismo das linhas que as imagens da coluna B mostram. Nas imagens da coluna B, em 2, observamos a clivagem do material, possivelmente causada pelo esforço de tração que é desenvolvido nesse local.

As imagens da figura 5 demonstram a superfície das barras utilizadas nos testes em um aumento de 33x, obtidas pelo MEV. Foi observado que as superfícies se diferenciaram de acordo com a angulação que foram impressas, em A (0°) apresenta-se uma menor rugosidade que em B (90°) e C (45°) respectivamente, confirmando os achados dos testes de rugosidade realizados.

Discussão

Redução do tempo e custo, confiabilidade, acurácia e possibilidades de fácil confecção de objetos geometricamente complexos são considerações importantes para se adaptar a tecnologias de impressão em 3D. Além disso, neste processo de prototipagem, pode-se obter uma redução de materiais residuais e confecção de vários objetos ao mesmo tempo enquanto mantém a acurácia de impressão mesmo em geometrias complexas. As técnicas de manufatura aditiva vêm sendo propostas como uma alternativa às técnicas de manufatura subtrativa e são utilizadas em vários setores na indústria e na saúde. Com o desenvolvimento das tecnologias digitais, os profissionais conseguem diminuir o tempo e espaço em termos de processamento de impressão e diminuir a distorção dos materiais [14,15,16].

Neste estudo, *in vitro*, foi testado o efeito da angulação de impressão comparando a resistência a flexão, rugosidade e microdureza em cada tipo de corpo de prova em formato de barra.

As barras impressas com as camadas com angulação de 0° em relação a plataforma mostraram maior resistência à flexão e menor rugosidade superficial em comparação com as barras construídas com as angulações de 90 graus e 45 graus. Dessa forma, a hipótese nula testada foi rejeitada. A característica de anisotropia do material e as angulações de impressão testadas contribuíram para que a hipótese nula fosse rejeitada.

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 [5,17,18]; as interações químicas presentes na mesma camada parecem propiciar melhores resultados mecânicos do que aquelas existentes entre as camadas, conforme afirmaram [17,18]. Os mesmos [17,18] 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.

Outros autores [19] também observaram resultados semelhantes aos do presente estudo, em que as próteses impressas com angulação de 0 graus tiveram as maiores resistências a fratura, assemelhando-se inclusive à resistência das próteses provisórias fresadas.

Por outro lado [20,21] observaram maior resistência à flexão nos corpos de prova com as camadas paralelas à direção de aplicação da carga. Ressalta-se que [20] relataram em sua discussão que antes da realização do teste de resistência a flexão, a expectativa desses autores era de que a maior resistência seria dos corpos de prova em que as camadas estariam orientadas perpendicularmente à direção de aplicação da carga.

Os resultados apresentados por [22] foram conflitantes aos observados na literatura revisada, pois os corpos de prova impressos a 0° e 90° apresentaram resistência a flexão semelhantes estatisticamente, demonstrando que orientações paralelas ou perpendiculares à direção de aplicação da carga não interferiram significativamente na resistência à flexão.

Quanto à rugosidade, foi observado que os corpos produzidos na angulação de 0° apresentaram menores graus de Ra, seguidos dos de 90°, e as barras produzidas a 45° apresentaram maior número de Ra, resultados semelhantes aos observados por [5]. Além de avaliarem as rugosidades, estes autores demonstraram que a colonização por *Candida albicans* foi maior nas superfícies impressas a 45°.

Reafirmando essa importância de obter menores rugosidades para minimizar a agregação de placa bacteriana, podemos citar também os trabalhos de [23,24]. Os últimos afirmaram ainda que a diminuição da rugosidade da superfície de uma restauração transitória pode favorecer a estabilidade de cor.

Considerando que a precisão de adaptação de restaurações obtidas por impressão 3D foi considerada adequada por [25,26], em uma abordagem clínica, utilizar a tecnologia de manufatura aditiva na fabricação de restaurações temporárias tende a ser uma conduta adequada, pois como demonstram os trabalhos de [13], espécimes obtidos por manufatura aditiva pela tecnologia SLA apresentaram menores valores de rugosidade de superfície, similares àquelas obtidas através de resina Bis-acrílica.

A literatura escassa reafirma a necessidade de esforços para obtenção de mais pesquisas em relação a rugosidade das próteses obtidas por resinas impressas 3D utilizadas atualmente no mercado, visto a quantidade de aplicações de utilização na odontologia e a potencial influência dos fatores agregadores de placa bacteriana na qualidade das reabilitações descritos anteriormente.

Quanto à dureza Vickers, por se tratar de um estudo que utilizou uma única resina para restaurações temporárias, não houve influência da angulação de impressão nos resultados

alcançados, que demonstraram que a microdureza foi semelhante estatisticamente para todos os três grupos.

O presente estudo *in vitro* utilizou barras, corpos de prova de forma simples, e aplicação de força unidirecional. Reconhece-se que estas características não reproduzem completamente situações clínicas, que apresentam formas mais complexas e diferentes orientações de força. Contudo, a utilização de formas simples e de força unidirecional favorecem as análises da influência da orientação de impressão nas propriedades mecânicas do material testado, sendo esse o objetivo do presente trabalho.

Além disso, nenhum período de envelhecimento foi utilizado no presente trabalho. Diversos autores sugerem que o envelhecimento dos corpos de prova pode contribuir para diminuição da sua resistência à flexão. Interessante notar que o comportamento das resinas após o envelhecimento artificial testado por [18,21,27], parece ter sido influenciado pelo tipo de resina. Dessa forma, sugere-se testar o comportamento dessa resina pós envelhecimento.

Diversos fatores como tipo e composição de resinas, tecnologia de impressão, espessura de camada, grau de polimerização, distância entre as camadas, intensidade da fonte de luz, diferentes técnicas de pós polimerização entre outros, são fatores que influenciam as propriedades mecânicas e físicas do material a ser impresso. Desta forma, outras comparações além das já realizadas no presente trabalho são difíceis de serem discutidas. Diante de tantas variáveis que interferem no processo de manufatura aditiva, este continua sendo um campo fértil para diversos trabalhos científicos.

Conclusão

Os resultados da atual pesquisa sugerem que utilizar uma angulação de 0 graus proporcionando a deposição das camadas no objeto impresso de forma que elas se orientem perpendicularmente à direção de aplicação de forças, resulta na melhor resistência à flexão e menor rugosidade, o que poderá contribuir para um melhor comportamento clínico.

Contribuições dos Autores

Nádia Vieira Queiroz: Investigação, Redação - Rascunho Original e Edição.

Anderson Sérgio Martins: Investigação e Redação.

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

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] Oberoi G, Nitsch S, Edelmayr M, Janjić K, Müller AS, Agis H. 3D Printing-encompassing the facets of dentistry. *Front Bioeng Biotechnol.* 2018; 6: 172. <http://doi/10.3389/fbioe.2018.00172>.
- [2] Alexandru B, Gasparik C, Baciú S, Manole M, Dudea D, Campian R. Three-dimensional accuracy evaluation of two additive manufacturing processes in the production of dental models. *Key Eng Mater.* 2017; 752: 119-125. <http://doi/10.4028/www.scientific.net/KEM.752.119>.
- [3] Jockusch J, Özcan M. Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications. *Dent Mater J.* 2020; 39(3): 345-354. <http://doi/10.4012/dmj.2019-123>.
- [4] 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(1): 51-57. <http://doi/10.1111/jerd.12438>.
- [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(4): 468-475. <http://doi/10.1016/j.prosdent.2019.05.034>.
- [6] Arora A, Yadav A, Upadhyaya V, Jain P, Verma M. Comparison of marginal and internal adaptation of copings fabricated from three different fabrication techniques: An *in vitro* study. *J Indian Prosthodont Soc.* 2018; 18(2): 102-107. http://doi/10.4103/jips.jips_327_17.
- [7] Holmer L, Othman A, Lühns AK, von See C. Comparison of the shear bond strength of 3D printed temporary bridges materials, on different types of resin cements and surface treatment. *J Clin Exp Dent.* 2019; 11(4): e367-e372. <http://doi/10.4317/jced.55617>.
- [8] Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, Ferracane JL, Bertassoni LE. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dent Mater.* 2018; 34(2): 192-200. <http://doi/10.1016/j.dental.2017.10.003>.
- [9] Choi SY, Habimana O, Flood P, Reynaud EG, Rodriguez BJ, Zhang N, et al. Material- and feature-dependent effects on cell adhesion to micro injection moulded medical

- polymers. *Colloids Surf B: Biointerfac.* 2016; 145: 46-54. <http://doi/10.1016/j.colsurfb.2016.04.032>
- [10] Von Fraunhofer JA, Loewy ZG. Factors involved in microbial colonization of oral prostheses. *Gen Dent.* 2009; 57(2): 136-43; quiz 144-5.
- [11] Kattadiyil MT, Jekki R, Goodacre CJ, Baba NZ. Comparison of treatment outcomes in digital and conventional complete removable dental prosthesis fabrications in a predoctoral setting. *J Prosthet Dent.* 2015; 114(6): 818-25. <http://doi/10.1016/j.prosdent.2015.08.001>.
- [12] Bidra AS, Taylor TD, Agar JR. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future perspectives. *J Prosthet Dent.* 2013; 109(6): 361-6. [http://doi/10.1016/S0022-3913\(13\)60318-2](http://doi/10.1016/S0022-3913(13)60318-2).
- [13] 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(1): 168-172. <http://doi/10.1016/j.prosdent.2020.06.026>.
- [14] Khatri A. Effect of manufacturing-induced defects and orientation on the failure and fracture mechanism of 3D printed structures. 2016. Dissertation (Master Mechanical Engineering) - Faculty of the Graduate School, University of Texas at Arlington, Arlington.
- [15] Valenti C, Federici MI, Masciotti F, Marinucci L, Xhimitiku I, Cianetti S, et al. Mechanical properties of 3D-printed prosthetic materials compared with milled and conventional processing: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *J Prosthet Dent.* 2022; S0022-3913(22)00415-2. <http://doi/10.1016/j.prosdent.2022.06.008>. Online ahead of print.
- [16] Dias Resende CC, Quirino Barbosa TA, Moura GF, Piola Rizzante FA, Mendonça G, Zancopé K, et al. Cost and effectiveness of 3-dimensionally printed model using three different printing layer parameters and two resins. *J Prosthet Dent.* 2021; S0022-3913(21): 00314-0. <http://doi/10.1016/j.prosdent.2021.06.006>. Online ahead of print.
- [17] 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>.
- [18] 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>.

- [19] Diken Turksayar AA, Donmez MB, Olcay EO, Demirel M, Demir E. Effect of printing orientation on the fracture strength of additively manufactured 3-unit interim fixed dental prostheses after aging. *J Dent.* 2022; 124: 104155. <http://doi/10.1016/j.jdent.2022.104155>.
- [20] 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 stereolithographically printed resin. *Dent Mater.* 2018; 34(12): e324-e333. <http://doi/10.1016/j.dental.2018.09.011>.
- [21] 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(2): 259. <http://doi/10.3390/ma14020259>.
- [22] Park SM, Park JM, Kim SK, Heo SJ, Koak JY. Comparison of flexural strength of three-dimensional printed three-unit provisional fixed dental prostheses according to build directions. *J Korean Dent Sci.* 2019;12(1):13-19. <https://doi.org/10.5856/JKDS.2019.12.1.13>.
- [23] 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.
- [24] Mickeviciute E, Ivanauskiene E, Noreikiene V. In vitro color and roughness stability of different temporary restorative materials. *Stomatologija.* 2016; 18(2): 66-72. PMID: 27649722.
- [25] 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(10): 1798. doi: 10.3390/ma11101798.
- [26] 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. doi: 10.11607/ijp.5709.
- 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 Prototyp J,* 2012; 18(5): 374-388. <http://doi:10.1108/13552541211250373>.

Tabelas**Tabela 1. Valores médios de desvio padrão dos grupos 1, 2 e 3 dos resultados gerais**

	G1 – 0 graus	G2 – 45 graus	G3 – 90 graus
Resistência a flexão (N/mm²)	236,20 (29,73)	155,80 (36,19)	138,70 (48,20)
Dureza Vickers (hv)	20,30 (4,01)	21,80 (2,25)	21,00 (3,92)
Rugosidade (ra)	0,10 (0,06)	1,62 (0,55)	0,97 (0,22)

Figuras

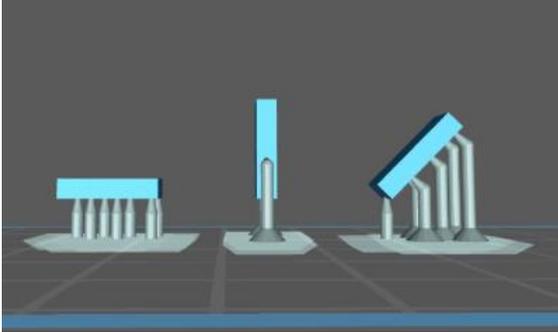


Figura 1. Imagem original do software utilizado (Meshmixer- Autodesk Inc, EUA.) de exemplificando as angulações de impressão dos corpos de prova que foram impressos.



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 (N/mm²), dureza Vickers (hv) e rugosidade aritmética (Ra) dos grupos 1, 2 e 3. Barras com as mesmas letras não são estatisticamente diferentes ($p > 5\%$) (ANOVA seguido por teste de Tukey).

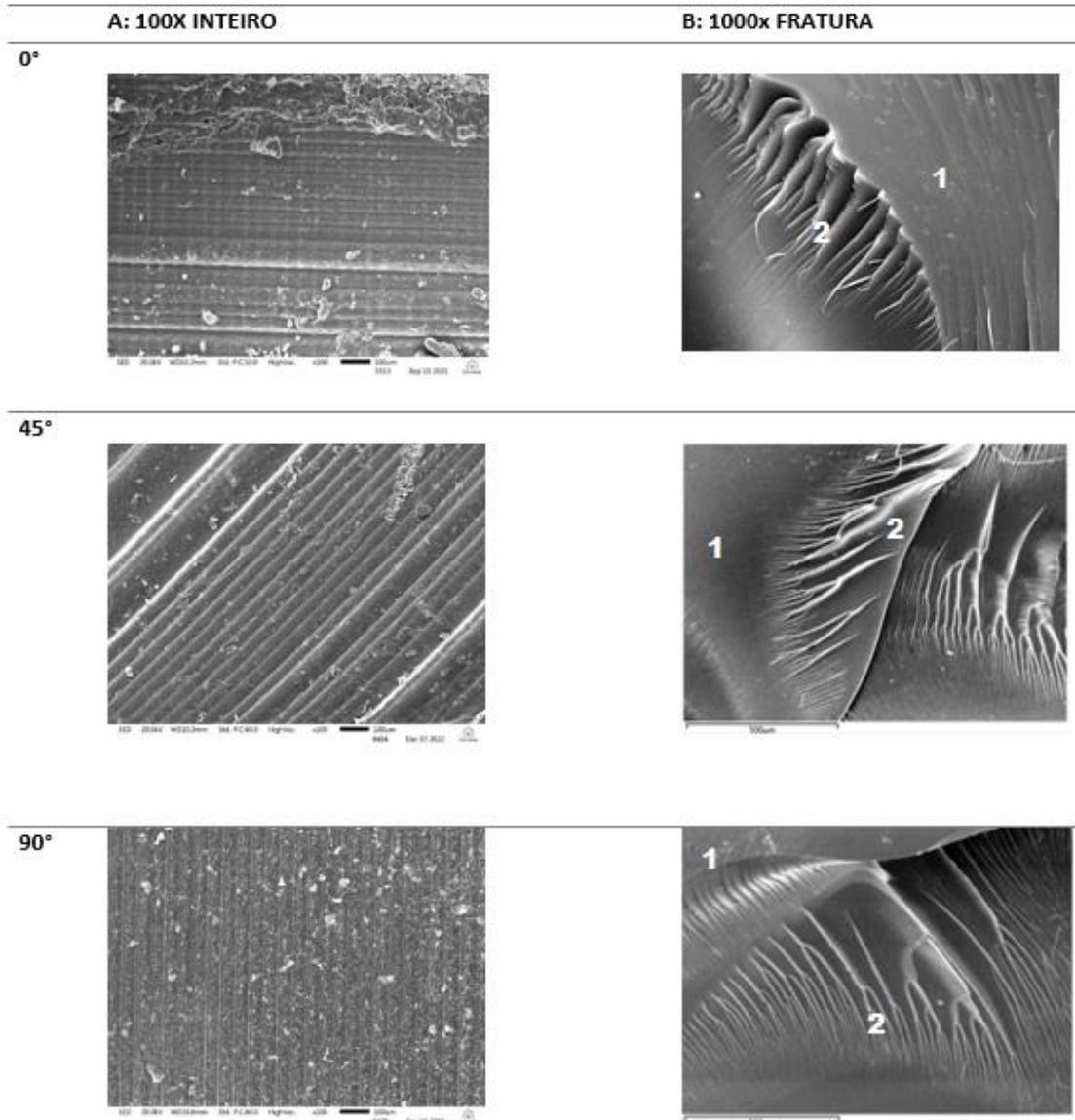


Figura 4. Imagens superficiais de 3 barras obtidas a 0°, 45° e 90°. Na coluna A corpos de prova inteiros em um aumento de 100X, antes do teste de flexão e na coluna B barras após a clivagem do teste de flexão.

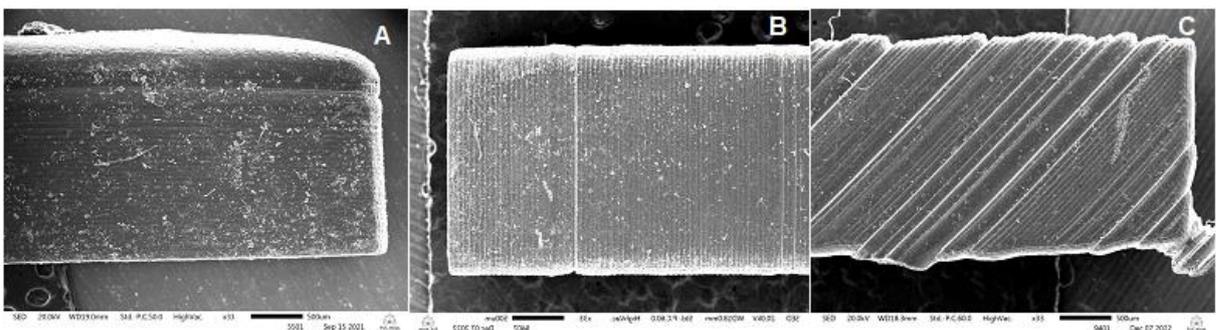


Figura 5. Imagens superficiais de 3 barras obtidas pelo MEV a 33x de aumento, cada uma por uma angulação de impressão, 0 (A), 90 (B) e 45 (C) graus.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos testes e resultados obtidos pudemos entender que a resina utilizada na atual pesquisa possui a presença basicamente de Carbono e Oxigênio.

Ao avaliar a capacidade de resistência à flexão foi observada que os espécimes impressos a 0 graus obtiveram melhor resultado em comparação aos dois outros grupos de espécimes impressas a 45 e 90 graus, demonstrando que a angulação de impressão influenciou a resistência à fratura dos espécimes.

Em relação à microdureza Vickers foi observado que a angulação de impressão não fez com esse parâmetro variasse.

A rugosidade é um fator preponderante para a escolha de materiais odontológicos, visto que a agregação bacteriana é um complicador para a longevidade das reabilitações em odontologia, no presente estudo observou-se que os espécimes impressos a 0 graus obtiveram menor rugosidade dos três grupos analisados, sendo que os impressos a 45 graus obtiveram mais que o dobro de rugosidade em relação ao grupo G3 de 90 graus.

Por se tratar de tecnologia em grande expansão, novos estudos são necessários para que possamos nortear a prática clínica com o uso de próteses obtidas através de tecnologia 3D.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRU, B. *et al.* Three-dimensional accuracy evaluation of two additive manufacturing processes in the production of dental models. **Key Engineering Materials**, v. 752, p. 119-125, 2017. doi. 10.4028/www.scientific.net/KEM.752.119.
- ARORA, A. *et al.* Comparison of marginal and internal adaptation of copings fabricated from three different fabrication techniques: An *in vitro* study. **Journal of Indian Prosthodontic Society**, v. 18, n.2, p. 102-107, Apr./June 2018. doi: 10.4103/jips.jips_327_17. 903172.
- BIDRA, A. S.; TAYLOR, T. D.; AGAR, J. R. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future perspectives. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 109, n. 6, p. 361-366, June 2013. doi: 10.1016/S0022-3913(13)60318-2.
- CHOI, S. Y. *et al.* Material- and feature-dependent effects on cell adhesion to micro injection moulded medical polymers. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 145, p. 46-54, Sept. 2016. doi:10.1016/j.colsurfb.2016.04.032 10.1016/j.colsurfb.2016.04.032.
- HOLMER, L. *et al.* Comparison of the shear bond strength of 3D printed temporary bridges materials, on different types of resin cements and surface treatment. **Journal of Clinical and Experimental Dentistry**, v. 11, n. 4, p. e367-e372, Apr. 2019. doi: 10.4317/jced.55617.
- JOCKUSCH, J.; ÖZCAN, M. Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications. **Dental Materials Journal**, v. 39, n. 3, p. 345-354, June 2020. doi: 10.4012/dmj.2019-123.
- KATTADIYIL, M. T. *et al.* Comparison of treatment outcomes in digital and conventional complete removable dental prosthesis fabrications in a predoctoral setting. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 114, n. 6, p. 818-825, Dec. 2015. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.08.001.
- OBEROI, G. *et al.* 3D Printing-encompassing the facets of dentistry. **Frontiers in Bioengineering Biotechnology**, v. 6, p. 172, Nov. 2018. doi: 10.3389/fbioe.2018.00172.
- 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. doi: 10.1111/jerd.12438.
- 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. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.05.034.
- 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. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.06.026.

TAHAYERI, A. *et al.* 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. **Dental Materials**, v. 34, n. 2, p. 192-200, Feb. 2018. doi: 10.1016/j.dental.2017.10.003.

VON FRAUNHOFER, J. A.; LOEWY, Z. G. Factors involved in microbial colonization of oral prostheses. **General Dentistry**, v. 57, n.2, p. 136-143; quiz 144-5, Mar./Apr. 2009.