



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

CURSO DE ODONTOLOGIA

LAÍS MARIA DE BARROS BATISTA

EFEITO DA ANGULAÇÃO DE PONTES PROVISÓRIAS DE RESINA IMPRESSA
EM 3D: um estudo *in vitro* sobre a dureza e carregamento à fratura

Recife

2024

LAÍS MARIA DE BARROS BATISTA

**EFEITO DA ANGULAÇÃO DE PONTES PROVISÓRIAS DE RESINA IMPRESSA
EM 3D: um estudo *in vitro* sobre a dureza e carregamento à fratura**

Trabalho apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Odontologia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco.

Orientadora: Profa. Dra. Viviane Maria Gonçalves de Figueiredo

Recife

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Batista, Laís Maria de Barros.

Efeito da angulação de pontes provisórias de resina impressa em 3D: um estudo in vitro sobre a dureza e carregamento à fratura / Laís Maria de Barros Batista. - Recife, 2024.

31 p. : il., tab.

Orientador(a): Viviane Maria Gonçalves de Figueiredo

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências da Saúde, Odontologia - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, anexos.

1. Prótese Dentária. 2. Tecnologia Digital. 3. Impressão Tridimensional. I. Figueiredo, Viviane Maria Gonçalves de. (Orientação). II. Título.

610 CDD (22.ed.)

LAÍS MARIA DE BARROS BATISTA

EFEITO DA ANGULAÇÃO DE PONTES PROVISÓRIAS DE RESINA IMPRESSA
EM 3D: um estudo *in vitro* sobre a dureza e carregamento à fratura

Trabalho apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Odontologia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco.

Aprovada em: 21/08/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Manassés Tercio Vieira Grangeiro
Primeiro avaliador/ Faculdade Anhanguera

Profa. Dra. Viviane Afonso Mergulhão
Segundo avaliador/ UFPE

Profa. Dra. Viviane Maria Gonçalves de Figueiredo
Terceiro Avaliador/ UFPE

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus, cuja presença e orientação foram fundamentais em cada passo deste caminho. Sua graça e misericórdia foram a luz que me guiou nos momentos mais desafiadores e a fonte de inspiração que me impulsionou nos momentos de sucesso.

Agradeço imensamente ao meu amado esposo, Filipe Batista, por seu amor inabalável, apoio incondicional e compreensão durante todo o período em que estive dedicada aos estudos. Sua presença foi meu porto seguro, e sua confiança em mim foi o combustível que me impulsionou a alcançar meus objetivos. Também sou grata a minha querida família, meus pais e irmãos, cujo amor, incentivo e sacrifício foram a base sólida sobre a qual construí meus sonhos.

Expresso também minha sincera gratidão à Universidade Federal de Pernambuco, por me proporcionar uma educação de excelência e por criar um ambiente acadêmico estimulante e inspirador. Cada professor, colega e funcionário contribuiu para a minha formação, e por isso sou imensamente grata.

Um agradecimento especial à minha professora orientadora, Profa. Dra. Viviane Figueiredo, cuja expertise, orientação e incentivo foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação e apoio foram verdadeiramente inestimáveis, e serei eternamente grata por sua orientação.

Também gostaria de estender minha gratidão ao laboratório INTM da Universidade Federal de Pernambuco, onde conduzi os testes deste trabalho. Sua infraestrutura e apoio técnico foram fundamentais para a realização do trabalho. Por fim, gostaria de agradecer ao TPD Rodrigo Pereira, cuja habilidade técnica e profissionalismo foram cruciais na impressão 3D das amostras da pesquisa.

A todos que de alguma forma contribuíram para minha jornada acadêmica, meu mais profundo obrigado. Que este trabalho possa ser uma pequena forma de expressar minha gratidão e apreço por cada um de vocês.

RESUMO

Objetivo: avaliar o efeito da angulação de impressão das pontes provisórias de resina impressa tridimensional (3D), através de um estudo *in vitro* sobre dureza e carregamento à fratura. **Metodologia:** Espécimes em forma de pontes fixas de 03 elementos (N=5), destinadas ao ensaio mecânico para fratura, e espécimes em bloco (N=1), para o ensaio de dureza, foram distribuídos entre os grupos experimentais quanto às diferentes angulações de impressão, 0°, 45°, 90°. Análise superficial em microscópio eletrônico de varredura (MEV) foi realizada em ambos tipos de espécimes (N=1) dos grupos experimentais. A impressão 3D, conforme a angulação de impressão, ocorreu com camadas de 0,05 mm, seguido por um processo de limpeza e cura. A limpeza foi realizada com álcool isopropílico e papel absorvente, seguido pela pós-cura de 15 minutos em cabine UV. Em seguida, foi realizado o teste de dureza em que os espécimes receberam 05 medições em microdurômetro Vickers, sob uma carga de 500 g e um tempo de permanência de 20 s. E no teste de carregamento à fratura, a força foi aplicada à fossa central do segundo pré-molar perpendicularmente a uma velocidade de 1 mm/min, através de um pistão com esfera de aço inoxidável de 4 mm de diâmetro fixado a uma máquina de ensaio. Por fim, os espécimes em forma de ponte foram avaliados quanto à fratura. Os dados de carregamento à fratura e dureza foram submetidos ao teste estatístico Anova 1 Fator ($p < 0,05$), os achados da análise superficial e fratura foram analisados de forma qualitativa. **Resultados:** Nas superfícies dos espécimes, as camadas de impressão são observadas principalmente no grupo 90° em espécime tipo bloco, além de defeitos nas faces vestibular, oclusal e palatino dos grupos 0° e 45° dos espécimes tipo ponte. Para a análise de dureza, a angulação da impressão 3D foi estatisticamente significativa entre grupos ($P=0,000$), enquanto para o carregamento à fratura não foi identificada diferença entre grupos ($P=0,177$). Por fim, houve prevalência de todas as falhas para os grupos 0° e 90° e fratura de retentor para o grupo 45°. **Conclusão:** Diferentes angulações de pontes provisórias fabricadas por uma resina impressa 3D promovem impacto sobre a dureza, contudo não interferem no carregamento à fratura.

Palavras-chave: Prótese Dentária; Tecnologia Digital, Impressão Tridimensional.

ABSTRACT

Objective: to evaluate the effect of printing angle of three-dimensional (3D) printed resin temporary bridges, through an in vitro study on hardness and fracture loading. **Methodology:** Specimens in the form of fixed bridges with three elements (N=5) for mechanical fracture testing, and block specimens (N=1) for hardness testing, were distributed among the experimental groups based on different printing angles: 0°, 45°, and 90°. Surface analysis using a scanning electron microscope (SEM) was conducted on one specimen from each experimental group. 3D printing, according to the printing angle, was performed with 0.05 mm layers, followed by a cleaning and curing process. Cleaning was done with isopropyl alcohol and absorbent paper, followed by post-curing for 15 minutes in a UV cabinet. Hardness testing was then performed, with the specimens receiving five measurements on a Vickers microhardness tester under a load of 500 g and a dwell time of 20 s. For fracture loading testing, force was applied to the central fossa of the second premolar perpendicularly at a speed of 1 mm/min using a piston with a 4 mm diameter stainless steel sphere attached to a testing machine. Finally, the bridge specimens were evaluated for fracture. Fracture loading and hardness data were subjected to a Anova 1 Factor statistical test ($p < 0.05$), while the findings from surface analysis and fractures were analyzed qualitatively. **Results:** On the surfaces of the specimens, printing layers were mainly observed in the 90° group for block-type specimens, along with defects on the vestibular, occlusal, and palatal faces of the 0° and 45° groups for bridge-type specimens. For hardness analysis, the 3D printing angle showed statistical significance between groups ($P = 0.000$), while no significant difference was found for fracture loading ($P = 0.177$). Finally, there was a prevalence of all failures for the 0° and 90° groups and retainer fracture for the 45° group. **Conclusion:** Different angles of provisional bridges manufactured by 3D printed resin affect hardness, but do not interfere with fracture loading.

Keywords: Dental prosthesis; Digital Technology, Three-Dimensional Printing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	08
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1	CONFEÇÃO DOS ESPÉCIMES.....	10
2.2	IMPRESSÃO 3D.....	10
2.3	GRUPOS EXPERIMENTAIS.....	11
2.4	ANÁLISE SUPERFICIAL	12
2.5	DUREZA.....	12
2.6	TESTE DE CARREGAMENTO À FRATURA.....	13
2.7	ANÁLISE DAS FRATURAS.....	13
2.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	13
3	RESULTADOS.....	15
4	DISCUSSÃO.....	22
5	CONCLUSÃO.....	27
	REFERÊNCIAS.....	28
	ANEXO A – NORMAS DA REVISTA BRAZILIAN DENTAL SCIENCE.....	30

1 INTRODUÇÃO

As próteses provisórias devem ser confeccionadas de materiais que possam suportar as alterações do ambiente oral e a carga oclusal por um certo período de tempo, principalmente em condições de reabilitações orais por meses ou em tratamento de prótese sobre implante [1,2]. Na tentativa de buscar uma alternativa de provisórios de longa duração, a fabricação dos mesmos pela tecnologia do *Computer-Aided Design – Computer-Aided Manufacturing* (CAD/CAM) tem tornado-se mais popular, simples e acessível ao trabalho odontológico [1,3,4]. Tanto que nos estudos *in vitro* de Myagmar et al. [5] e Al-Qahtani et al. [6], as resinas provisórias impressas tridimensionalmente (3D) têm sido indicadas como material restaurador temporário por longos períodos de uso clínico.

Os materiais à base de polímeros são amplamente utilizados para produzir coroas dentárias usando tecnologia aditiva. No entanto, estudos avaliando o uso de materiais impressos 3D na Odontologia em termos de sua superfície e propriedades mecânicas, incluindo resistência à flexão, rugosidade da superfície, dureza e estética, permanecem limitados [7,8]. Diversos fatores ainda não estão estabelecidos para as resinas provisórias impressas 3D, como o tipo da impressora, parâmetros de impressão, espessura das camadas e pós-processamento, que se fazem importante para entender o impacto sobre as propriedades mecânicas e falhas das restaurações impressas [9,10].

Estudos demonstraram que a angulação de impressão é um fator que parece influenciar as propriedades mecânicas das resinas impressas 3D, devido à distinta polimerização das camadas durante o processo de impressão [9,11,12]. Dessa forma, este parâmetro de impressão apresenta-se como uma lacuna na literatura, e a construção

de evidências científicas irá ajudar a melhorar a qualidade da restauração dentária e seu desempenho na prática diária [7,9,11].

Com base no exposto, objetivou-se avaliar o efeito da angulação de pontes provisórias de resina impressa 3D, através um estudo *in vitro* sobre dureza e carregamento à fratura. A hipótese testada foi: Hipótese Nula - Não haverá diferença estatisticamente significativa quanto a angulação de pontes provisórias de resina impressa em 3D em relação à dureza e ao carregamento à fratura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Confeção dos Espécimes

Neste estudo foram produzidos dois tipos de espécime, pontes fixas de 03 elementos destinados ao ensaio mecânico de fratura e blocos para o ensaio de dureza. Ambos espécimes também foram adotados para análise superficial.

Para a ponte fixa de 03 elementos, um modelo com pilares cilíndricos metálicos, que simulam um pântico para o elemento 25 e pilares para os elementos 24 e 26, foi elaborado a partir dos seguintes parâmetros: os pilares cilíndricos cônicos com 6° tiveram 5,4 mm de altura, 6,0 mm (pré-molar) e 7,4 mm (molar) de largura, por fim término cervical em chanfro com 0,8 mm de espessura [10]. A espessura oclusal da ponte foi 1,5 mm, o conector circular uma dimensão 16,0 mm² e a distância da base do conector para o modelo foi de 7 mm [11].

Os preparos metálicos foram escaneados com scanner de bancada para reproduzir o desenho em CAD. Dessa forma, foi gerado um arquivo *Standard Tessellation Language* (STL) que foi transferido para um software de desenho odontológico (exocad DentalCAD 2.2 Valetta; exocad GmbH), a fim de projetar a ponte fixa que teve um espaço de cimento de 0,08 mm [1,10]. Enquanto, os blocos de 25 X 12 X 2 mm foram planejados no mesmo software de desenho odontológico anteriormente citado. (Figura 1)

2.2 Impressão 3D

O arquivo em STL referente aos espécimes foi trabalhado no software para fatiamento da impressão (Photon Workshop, version V2.1.21.; Anycubic, Shenzhen, China). Assim, foram obtidos os espécimes impressos em impressora 3D (Impressora 3d Anycubic Photon S Talmax Prótese Odontológica, Curitiba, Paraná, Brasil) pelo método de

Processamento digital por luz (*Digital Light Processing* - DLP). A impressão dos espécimes em resina para provisório (Resina Bio Prov; Prizma 3D Makertech Labs, Brasil - composição: Monômeros Acrilados e Triacrilados Proprietário, Sílica amorfa, Cargas, Oligômeros Meta-Acrilados, Diphenyl (2,4,6-trimethylbenzoyl)) foi conduzida nas angulações de impressão 0°, 45° e 90° com camadas de 0,05 mm, seguido por um processo de limpeza e cura. Após impressão, os espécimes foram limpos em álcool isopropílico por 10 min através de banho em ultrassom e foi realizada uma pós-cura em câmara ultravioleta por 10 min, conforme as recomendações do fabricante. A retirada dos suportes se deu com motor de bancada e fresa em disco diamantado. Por fim, verificada a adaptação sobre os preparos metálicos. (Figura 1)

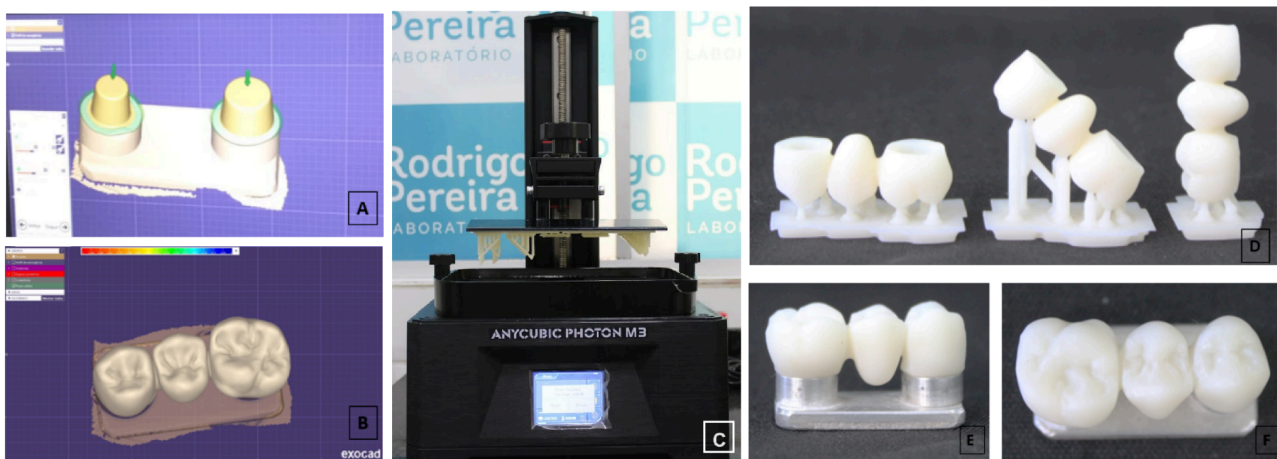


Figura 1: A e B - planejamento em CAD, C - impressora DLP, D - diferentes angulações de impressão das pontes provisórias, respectivamente 0°, 45° e 90°, E e F - pontes posicionadas sobre o preparo metálico.

2.3 Grupos Experimentais

Os grupos experimentais foram definidos pela angulação da impressão (Quadro 1). O valor amostral deste estudo foi calculado com auxílio do programa estatístico Minitab (versão 17 para windows, Pensilvânia EUA), com base no desvio padrão (27,8) de

pesquisa semelhante, Turksayar et al. [10] para o carregamento à fratura, assim o N=05 apresentou um poder amostral de 80,0% em relação a máximas diferenças. Já para a dureza, foi preconizada a quantidade de 05 indentações em cada bloco, segundo o estudo semelhante de Crenn et al. [2]. A análise superficial na pesquisa foi realizada com N=01, apresentando um espécime de cada tipo representativo por grupo experimental.

Quadro 1: Descrição dos grupos experimentais e N amostral do estudo.

Grupo Experimental	Descrição	N amostral Bloco para Análise Superficial	N amostral Ponte Fixa para Análise Superficial	N amostral Ponte Fixa	N amostral Indentações para Dureza (n=bloco)
0°	0° para angulação da impressão	N=1	N=1	N=5	N=5 (n=1)
45°	45° para angulação da impressão	N=1	N=1	N=5	N=5 (n=1)
90°	90° para angulação da impressão	N=1	N=1	N=5	N=5 (n=1)

2.4 Análise Superficial

Uma amostra significativa de cada grupo experimental com cada tipo de espécime (N=1) foi avaliada em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (HITACHI, Modelo TM300), a fim de identificar defeitos, poros e o comportamento superficial do material em estudo.

2.5 Dureza

Espécimes em bloco receberam 05 medições em microdurômetro Vickers (Micromet 5101, Buehler), sob uma carga de 500 g e um tempo de permanência de 20s [2]. Cinco recuos foram feitos em cada espécime próximo ao centro do espécime, pelo menos 0,5 mm um do outro. Os diâmetros principais do recuo de Vicker (d1 e d2) foram medidos com um micrômetro óptico e a dureza foi calculada com a Fórmula 1:

$$\text{Dureza} = \frac{1850 \times \text{Carga}}{(d1 \times d2)}$$

Fórmula 1: Cálculo da Dureza.

2.6 Teste de Carregamento à Fratura

Para mensurar a força para fratura foi realizado o teste de compressão sobre a ponte fixa, a força foi aplicada à fossa central do segundo pré-molar perpendicularmente com uma velocidade de 1 mm/min, através de um pistão com esfera de aço inoxidável de 4 mm de diâmetro fixado a uma máquina de ensaio (Emic DL-1000, Emic, São José dos Pinhais, PR, Brasil) [10]. Os valores máximos de fratura foram obtidos em Newton (N) para cada grupo. Para a realização do teste não foi realizada a cimentação das pontes sobre os preparos metálicos. Também durante o teste, uma folha de Alumínio de 0,5 mm de espessura foi posicionada entre o pântico e o pistão para evitar forças de pico [11].

2.7 Análise das Fraturas

Os espécimes fraturados foram analisados para determinação das características de fratura. As falhas foram categorizadas conforme a fratura na região do conetor, pântico e retentor, presença de trincas e todas as falhas ocorrendo conjuntamente, conforme o estudo de Turksayar et al. [10].

2.8 Análise Estatística

Os resultados foram tabulados e analisados no Minitab (versão 17 para windows, Pensilvânia, EUA), com nível de significância adotado de 5%. Os dados de carregamento

à fratura e dureza foram avaliados, quanto ao efeito da angulação de impressão, por meio do teste estatístico Anova 1 Fator ($p < 0,05$). Quando identificada diferença entre grupos experimentais, o teste de Tukey ($p < 0,05$) foi aplicado entre os dados do estudo. O teste de Kolmogorov–Smirnov foi realizado para determinar a normalidade dos dados, que foi observada para os achados da dureza ($p > 0,150$) e carregamento à fratura ($p > 0,150$). A análise superficial e fractográfica foi avaliada qualitativamente.

3 RESULTADOS

A partir das análises realizadas, observa-se que as superfícies dos espécimes com diferentes angulações de impressão possuem morfologia distinta, que ressaltam as características das camadas de impressão, principalmente no grupo 90° em espécime tipo bloco (Figura 2). Quanto à análise de dureza, a angulação da impressão 3D foi estatisticamente significativa entre grupos ($P=0,000$), os quais demonstraram diferenças entre todos. Destacando em ordem decrescente de valores médios de dureza a angulação em 90°, seguido pelas angulações de 45° e 0° (Tabela 1, Figura 3, Figura 4). Do ponto de vista da análise de superfície das pontes impressas 3D, observa-se uma frequência de defeitos nas faces vestibular, oclusal e palatino dos grupos 0° e 45°, que se devem à presença de suportes da impressão nessas regiões (Figuras 5 e 6). Como também, por uma possível falha de impressão no grupo 0°, resultando na presença de trincas (Figura 5). No grupo 90°, como os suportes são localizados na face proximal, não foi registrado nenhum dano na ponte provisória nas faces já citadas (Figura 7). As superfícies investigadas das pontes provisórias são semelhantes entre si, em relação à disposição das camadas de impressão, no entanto, ocorre uma alteração superficial conforme o acidente anatômico a ser impresso. Também se destaca a presença de uma maior camada intermediária entre as camadas de impressão do grupo 45° (Figura 6), pois nos demais grupos experimentais ocorre uma continuidade entre as camadas de impressão. O teste de carregamento à fratura não identificou diferenças entre grupos experimentais ($P=0,177$), e apresentou o grupo com angulação de 90° com a maior média de força suportada até a fratura, seguido pelos grupos com 0° e 45° (Tabela 2, Figura 8). Além da prevalência de todas as falhas para os grupos 0° e 90° e fratura de retentor para o grupo 45° (Tabela 3, Figuras 9, 10 e 11).

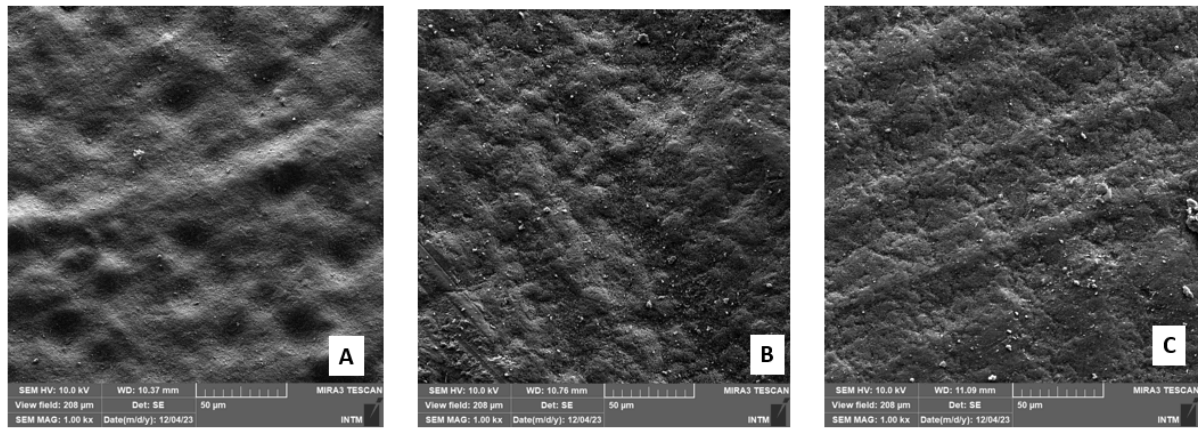


Figura 2: Imagens superficiais de microscopia eletrônica de varredura com aumento de 1000X, A-0°; B-45°; C-90°.

Tabela 1: Dados sobre a Dureza*

Grupos Experimentais	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	P-valor	Diferença entre Grupos**
0°	13,34	0,865	12,50	14,30		C
45°	17,56	1,401	16,25	19,20	0,000	B
90°	19,50	1,111	18,45	20,70		A

*Medições em microdurômetro Vickers (Micromet 5101, Buehler). **Letras diferentes demonstram diferenças entre grupos experimentais.

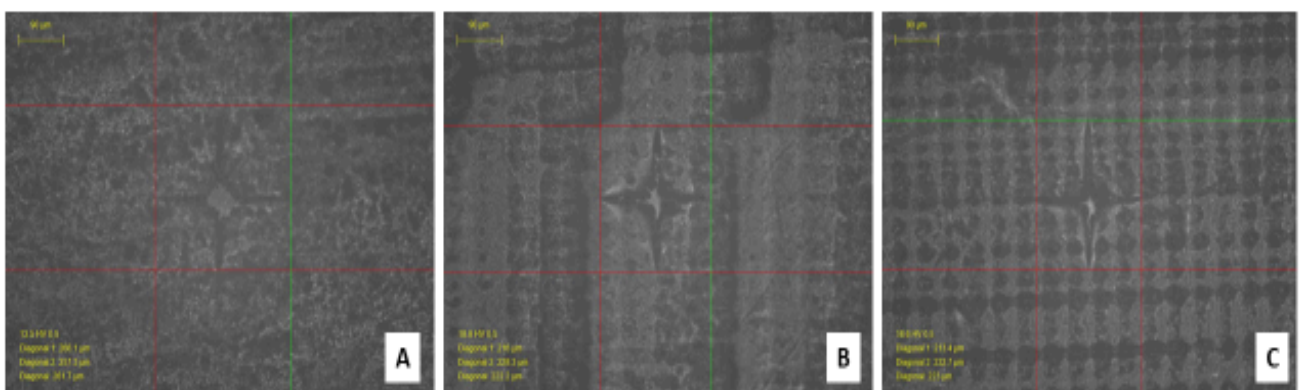


Figura 3 : Indentações dos espécimes em bloco, A-0°; B-45°; C-90°.

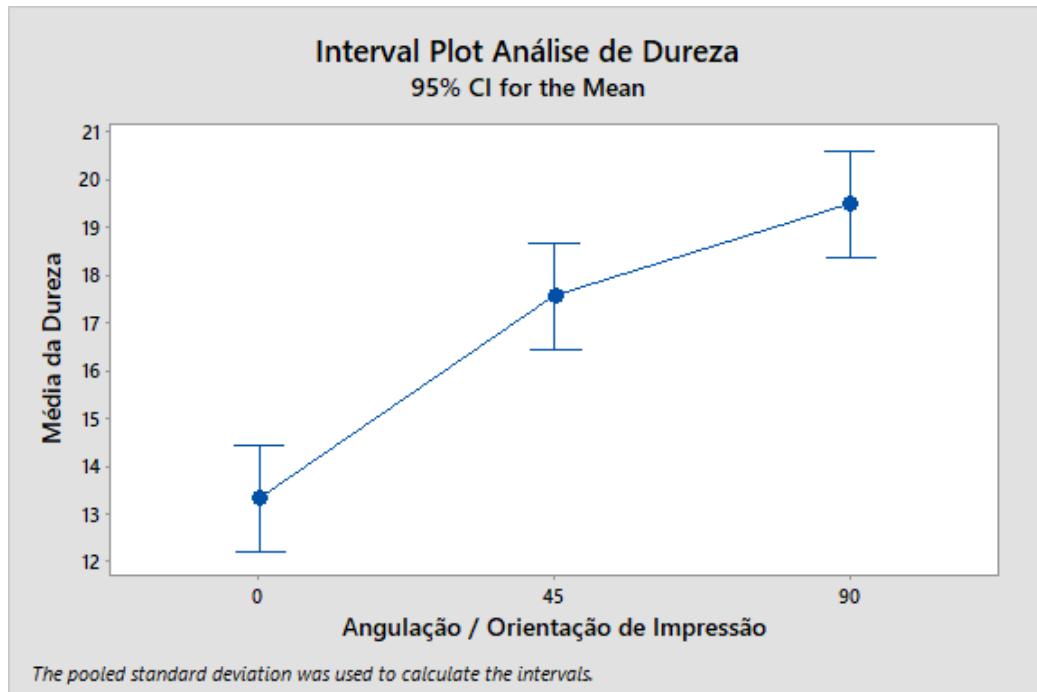


Figura 4: Diferença entre grupos experimentais para análise da dureza.

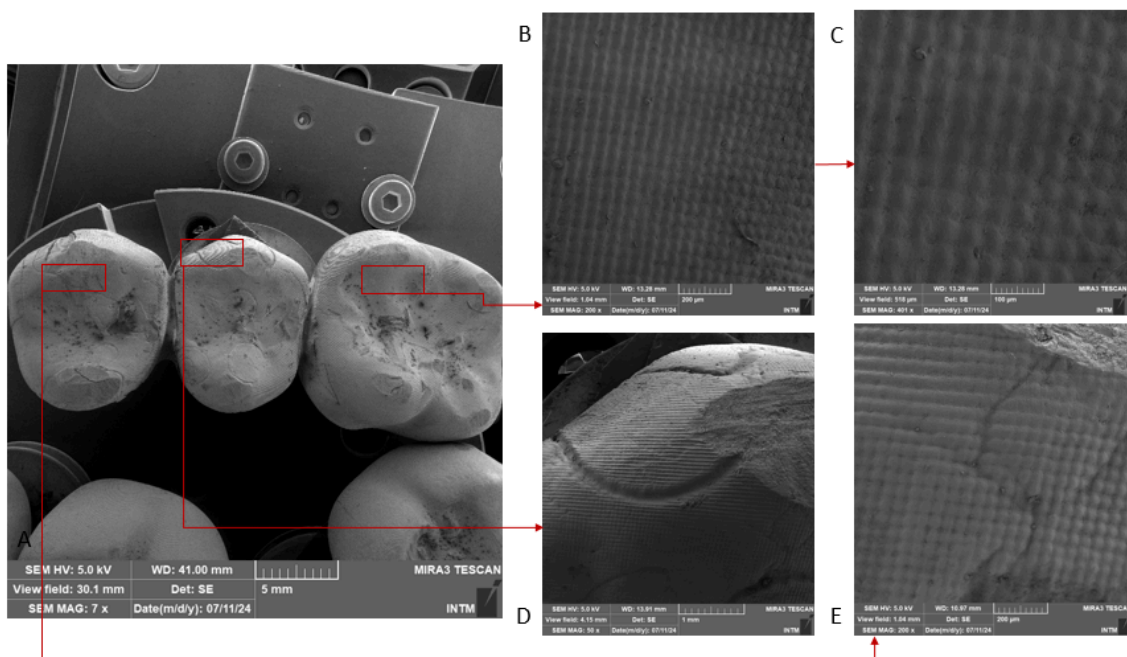


Figura 5: Grupo 0°, A - ponte com alguns defeitos devido a remoção de suportes na oclusal (aumento 6,9 X), B e C - superfície oclusal do 1° molar (aumento 200X e 400X, respectivamente), D - 2° pré-molar com falhas na impressão entre as faces vestibular e oclusal (aumento de 50X) e E - trincas e defeitos na face oclusal do 1° pré-molar (aumento de 200X).

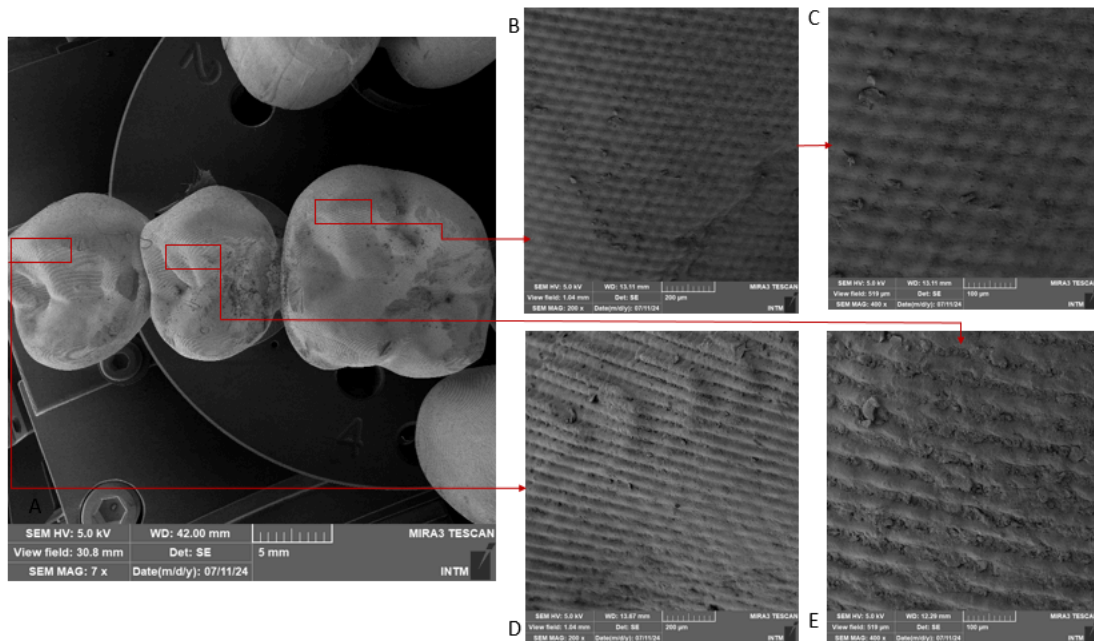


Figura 6: Grupo 45°, A - ponte com alguns defeitos devido a remoção de suportes na oclusal (aumento 6,7 X), B e C - superfície oclusal do 1° molar (aumento 200X e 400X, respectivamente), D - 1° pré-molar observa-se as camadas de impressão na região de cúspide (aumento de 200X) e E - 2° pré-molar verifica-se a presença de uma camada intermediária entre as camadas de impressão (aumento de 400X).

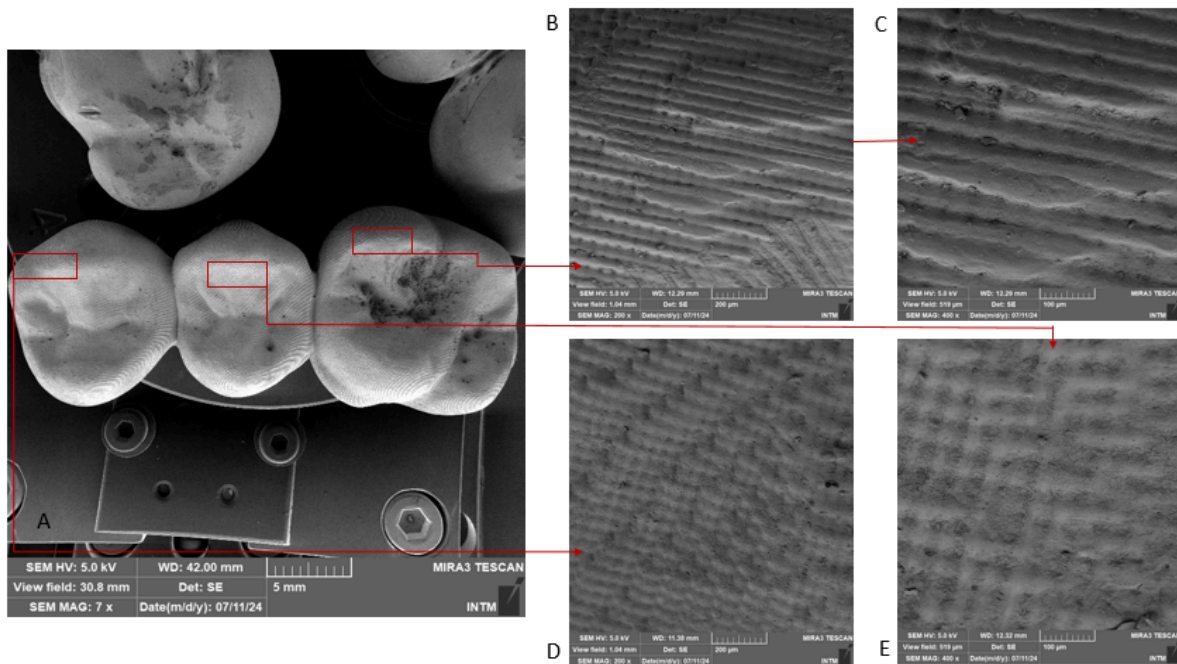


Figura 7: Grupo 90°, A - ponte com ausência defeitos por remoção de suporte na oclusal (aumento 6,7 X), B e C - cúspide méso-vestibular do 1° molar (aumento 200X e 400X, respectivamente), D - 1° pré-molar observa-se as camadas de impressão na região de vestibular (aumento de 200X) e E - face oclusal do 2° pré-molar (aumento de 400X).

Tabela 2: Dados de carregamento à fratura*

Grupos Experimentais	Média (N)	Desvio Padrão	Mínimo (N)	Máximo (N)	P-valor	Diferença entre Grupos**
0°	1.101,9	178,1	887,8	1.354,2	0,177	A
45°	850,0	334	256,0	1.046,0		A
90°	1.182,0	284	689,0	1.413,0		A

*Teste realizado em uma máquina de ensaio (Emic DL-1000, Emic, São José dos Pinhais, PR, Brasil).

**Letras diferentes demonstram diferenças entre grupos experimentais.

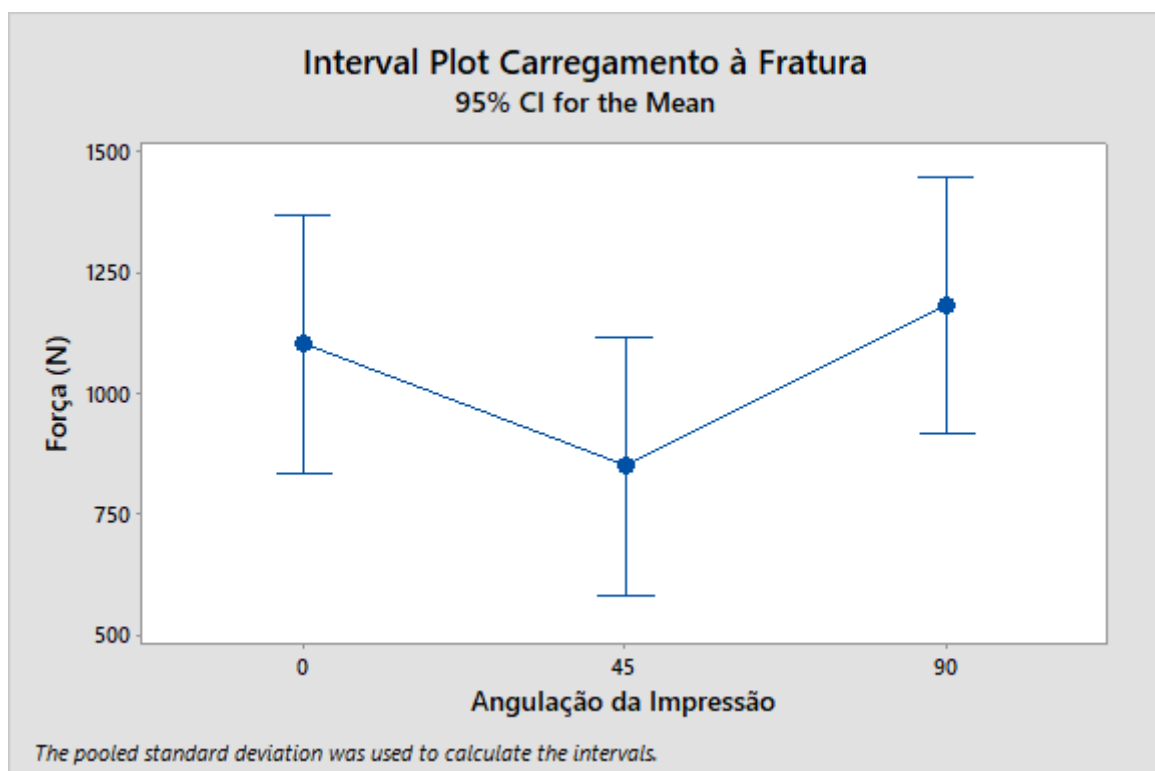


Figura 8: Grupos experimentais para o teste do carregamento à fratura.

Tabela 3: Dados de Fratura

Grupo Experimental	Trinca	Fratura Retentor	Fratura Pôntico	Fratura Conector	Todas as Falhas
0°	01	01	-	01	02
45°	-	03	02	-	-
90°	-	-	-	01	04
Total	01	04	02	02	06

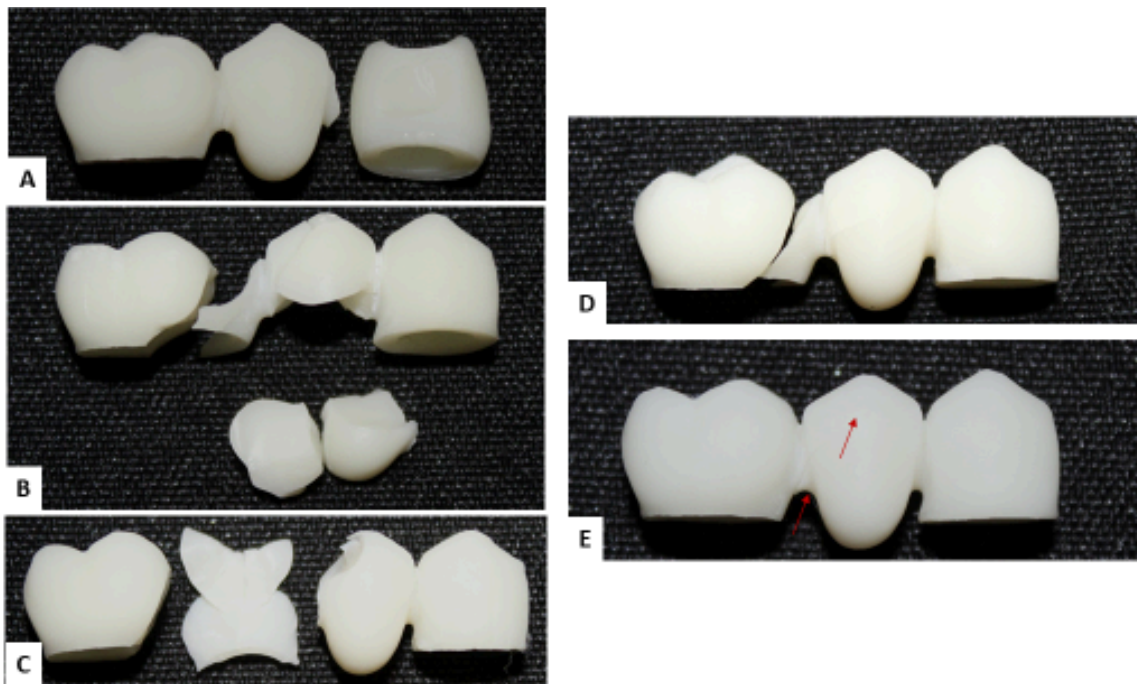


Figura 9: Grupo experimental 0°; A - fratura do conector, espécime 1; B e C - todas as falhas, espécimes 2 e 3, respectivamente; D - fratura do retentor, espécime 4; E - trinca em região de conector e pôntico, espécime 5.

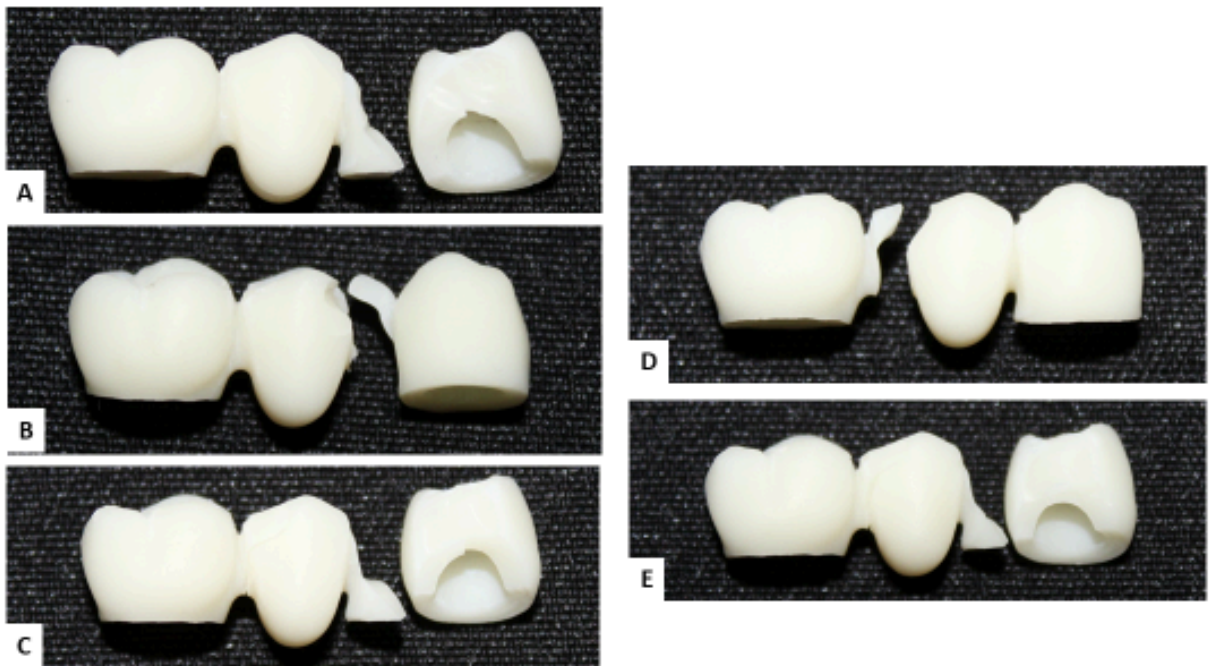


Figura 10: Grupo experimental 45°; A - fratura do retentor, espécime 1; B - fratura sobre o pântico, espécime 2; C - fratura do retentor, espécime 3; D - fratura sobre o pântico, espécime 4; E - fratura do retentor, espécime 5.

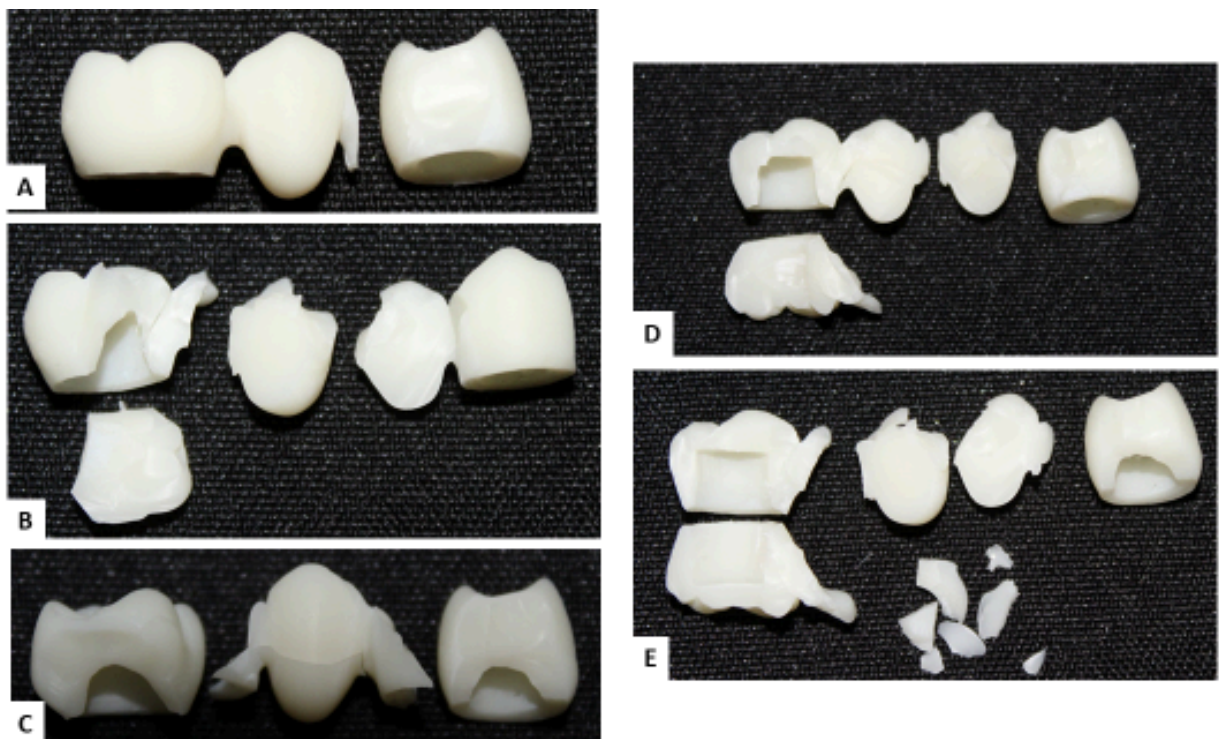


Figura 11: Grupo experimental 90°; A - fratura do conector, espécime 1; B, C, D, E - todas as falhas, espécimes 2, 3, 4, 5 respectivamente.

4 DISCUSSÃO

Com base nos dados obtidos na pesquisa, a hipótese nula, de que não haveria diferença estatisticamente significativa quanto a angulação de pontes provisórias de resina impressa em 3D em relação à dureza e ao carregamento à fratura, foi parcialmente aceita, pois a angulação da impressão 3D foi estatisticamente significativa quanto à dureza.

Em relação à análise superficial, a nítida observação das camadas de impressão nos espécimes (geométrico e anatômico) também foram observadas em outras pesquisas e se deve a técnica de impressão adotada na pesquisa o DLP, em que a luz é projetada em forma de pixel na superfície de impressão, realizando a polimerização da resina por camadas [3,8]. Outra questão observada se deve as superfícies em espécimes geométricos e anatômicos, que se mostram distintas. Quando os espécimes eram blocos, se identificou um padrão superficial heterogêneo entre grupos, tanto que as camadas de impressão foram mais evidentes em 90° em comparação com 0° e 45°, devido a angulação de impressão adotada.

As morfologias destas superfícies também poderão refletir num perfil de rugosidade diferente, embora não seja mensurado nesta pesquisa. Alguns estudos que comparam a resina impressa 3D com a resina convencional obtêm resultados diversos, como Myagmar et al. [5], em que o grupo de resina impressa 3D apresentou, antes e após o envelhecimento, uma superfície significativamente mais lisa que a técnica convencional. No estudo realizado por Simoneti et al. [4], o ensaio de rugosidade superficial apresentou dados semelhantes entre espécimes impressos 3D e confeccionados por métodos convencionais. Já nos achados de Al-Qahtani et al. [6], a rugosidade se apresentou maior no grupo de amostras impressas 3D, podendo ser essas diferenças conferidas à

composição dos materiais utilizados ou a diferentes angulações de impressão entre as pesquisas.

Para os espécimes geométricos, talvez a presença de diferentes acidentes anatômicos fez com que as superfícies se apresentassem mais semelhantes nas angulações de 0° , 45° e 90° . Essa condição superficial talvez explique a ausência de diferença estatística entre grupos experimentais após o carregamento à fratura. Indo de encontro aos achados de Park et al. [12], em que a morfologia da superfície de um objeto impresso 3D pode estar relacionada a algumas propriedades mecânicas, como a resistência à flexão e a resistência à fratura. Contudo, esse estudo comparou diferentes técnicas de impressão DLP, estereolitografia e modelagem por deposição fundida, além de não analisar a angulação como parâmetro de impressão.

Ainda sobre a superfície das pontes, a presença de suportes principalmente na face oclusal nas angulações de 0° e 45° fez com que fossem identificados vários danos anatômicos na ponte provisória. Neste estudo não foi realizado nenhum acabamento e polimento dos espécimes, logo após a impressão e remoção dos suportes os ensaios foram realizados. Estas falhas precisam ser removidas clinicamente com acabamento e polimento em todo provisório, a fim de que estas alterações superficiais não favoreçam o acúmulo de placa bacteriana, dificuldade no ajuste oclusal ou mesmo machucar o paciente. Enquanto que na impressão em 90° os suportes estão localizados na face proximal, facilitando o processo de cimentação da ponte provisória com menores ajustes e reduzindo o tempo clínico. As trincas identificadas em 0° podem ser justificadas pela orientação de impressão, que pode apresentar limitação para formação de acidentes anatômicos mais elevados como as cúspides. Ademais, a ampla e rugosa interface de ligação entre as camadas de impressão em 45° se deve a técnica de impressão adotada. No princípio do DLP, cada camada é formada da tela única exibida no chipset DMD, e as

linhas em cada camada parecem ásperas devido ao limite de resolução do chipset. Na área específica onde a ligação entre camadas é fraca, a fratura pode ocorrer mais rapidamente se a superfície for rugosa [12]. Fator que pode justificar os baixos valores médios de carregamento à fratura neste grupo experimental.

Neste estudo a angulação de impressão foi um fator que interferiu estatisticamente para a dureza deste material, sendo um importante achado para a comunidade odontológica. Desde que não se observou a análise desta variável entre as pesquisas, que mensuraram dureza de resinas impressas 3D para coroas ou pontes provisórias. A literatura mostra que a dureza das resinas em estudo pode sofrer ação da técnica de impressão [2], composição [2], camada de impressão [7], além de apresentar distintos resultados em relação a outros tipos de resinas para provisórios [4,6] e estudos que na grande maioria não mencionam na metodologia a angulação de impressão dos espécimes. Dessa forma, talvez os resultados de dureza possam ser explicados pela condição em que o teste é realizado. Ou seja, mesmo que a confecção da impressão do espécime seja em camadas com orientação de 90° o teste de dureza é realizado com o espécime na horizontal. Ou seja, há dificuldade em promover a indentação diretamente entre as camadas de impressão nos grupos 45° e 90°, e assim promover o rompimento entre elas. Por isso, o grupo 0° obteve menor valor de dureza pelo teste ser conduzido na superfície do espécime sem atingir diretamente as camadas de impressão. Cenário semelhante foi observado na pesquisa sobre fratura de Reymus et al. [11], para todos os espécimes em posição distal foi observada uma carga de fratura maior do que na posição oclusal, devido a maior resistência para separação das camadas em direção a força do teste mecânico.

No carregamento à fratura não se observou diferença estatística entre as angulações de impressão, os achados vão de encontro aos estudos de Reymus et al. [11]

e Turksayar et al. [10]. Os dados pós-fratura podem ser explicados pela semelhança morfológica entre os espécimes, segundo Park et al. [12] as propriedades mecânicas das resinas impressas 3D são reflexo da apresentação morfológica. Diversas resinas comerciais apresentam uma condição superficial distinta, em relação ao tamanho das partículas, matriz e dimensão. Por isso, a morfologia e composição química da resina influenciam nas propriedades mecânicas desse material temporário [9]. O envelhecimento dos espécimes nas pesquisas de Turksayar et al. [10] (Termomecânico com 120.000 ciclos e banhos de 5 - 55°C) e Reymus et al. [11] (21 dias de armazenamento em água destilada a 37°C) pode promover alteração entre as camadas de ligação mais espessas gerando diferenças entre os valores de força suportados até a fratura, além da técnica de impressão da estereolitografia com valorização de detalhes que não sejam possíveis reproduzir com a técnica do DLP e a diferente composição química da resina testada promoveram resultados distintos da pesquisa em questão.

Quanto ao padrão de fratura, o estudo em questão avaliou todos os espécimes após alcançar a fratura, ou seja, o teste não foi parado ao ser identificada a primeira trinca. Dessa forma, houve maior frequência de todas as fraturas ocorrendo conjuntamente no espécime, gerando vários fragmentos. Resultado que corrobora com os dados de fratura de pontes de três elementos pela técnica da impressão DLP de Park et al. [12], em que a baixa elasticidade da resina testada gerou vários fragmentos, principalmente na área do conector. Vale destacar que o crescente volume desses fragmentos pode promover lesões ao paciente após fratura. Que se deve a composição da resina impressa 3D à base de monômeros acrilados, que apresenta boa dureza superficial, contudo são quebradiços devido a estrutura química. Ademais, a maior prevalência de todas as falhas nos grupos 0° e 90° podem ser explicados por suportarem maior carga até a fratura, maior compactação entre as camadas de impressão e menores

danos superficiais, principalmente no grupo 90°. Diferentemente das condições observadas no grupo 45°, quanto a média de força para fratura e camada intermediária entre as camadas de impressão.

As limitações identificadas nesta pesquisa foram a ausência do envelhecimento, comparar outras angulações de impressão e análises complementares. Novos estudos devem investigar o carregamento à fratura após ciclagem mecânica, identificar a origem da fratura dos espécimes, realizar análise de módulo de elasticidade, tenacidade à fratura, a fim de coletar informações *in vitro* para realizar posteriormente ensaios clínicos controlados e assim validar o uso das resinas impressas 3D para pontes provisórias na clínica diária.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados alcançados através desta pesquisa *in vitro*, observou-se que as diferentes angulações de impressão de pontes provisórias fabricadas por uma resina impressa 3D promovem impacto sobre a dureza, contudo não interferem no carregamento à fratura.

REFERÊNCIAS

- [1] Reeponmaha T, Angwaravong O, Angwarawong T. Comparison of fracture strength after thermo-mechanical aging between provisional crowns made with CAD/CAM and conventional method. *The Journal of Advanced Prosthodontics*. 2020;12(4):218-224. doi: <https://doi.org/10.4047/jap.2020.12.4.218>.
- [2] Crenn MJ, Rohman G, Fromentin O, Benoit A. Polylactic acid as a biocompatible polymer for three-dimensional printing of interim prosthesis: Mechanical characterization. *Dental Materials Journal*. 2022; 41(1):110–116. doi: <https://doi.org/10.4012/dmj.2021-151>.
- [3] Berli C, Thieringer FM, Sharma N, Müller JA, Dedem P, Fischer J, et al. Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2020; 124(6): 780-786. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.10.024>.
- [4] Simoneti DM, Pereira-Cenci T, Santos BF. Comparison of material properties and biofilm formation in interim single crowns obtained by 3D printing and conventional methods. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2022;127:168-172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.06.026>.
- [5] Myagmar G, Lee JH, Ahn JS, Yeo SL, Yoon HI, Han JS. Wear of 3D printed and CAD/CAM milled interim resin materials after chewing simulation. *The Journal of Advanced Prosthodontics*. 2021;13(3):144-151. doi: <https://doi.org/10.4047/jap.2021.13.3.144>.
- [6] Al-Qahtani AS, Tulbah HI, Binhasan M, Abbasi MS, Ahmed N, Shabib S, et al. Surface Properties of Polymer Resins Fabricated with Subtractive and Additive Manufacturing Techniques. *Polymers*. 2021; 13(23):4077. doi: <https://doi.org/10.3390/polym13234077>.
- [7] Alshamrani AA, Raju R, Ellakwa A. Effect of Printing Layer Thickness and Postprinting Conditions on the Flexural Strength and Hardness of a 3D-Printed Resin. Ye C, editor. *BioMed Research International*. 2022; 2022:1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2022/8353137>.
- [8] Oliveira JR, Rodriguez LS, Finck NS. O fluxo de trabalho e a aplicação da impressão 3D na odontologia | *Revista Eletrônica Acervo Saúde*. 2023; 23(5):1-8. doi: <https://doi.org/10.25248/REAS.e12747.2023>.
- [9] Kleber A, Hickel R, Ilie N. *In vitro* investigation of the influence of printing direction on the flexural strength, flexural modulus and fractographic analysis of 3D-printed temporary materials. *Dental Materials Journal*. 2021; 40(3):641–649. doi: [doi:10.4012/dmj.2020-147](https://doi.org/10.4012/dmj.2020-147).
- [10] 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. *Journal of Dentistry*. 2022; 124:104155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104155>.

[11] Reymus M, Fabritius R, Kleber 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. *Clinical Oral Investigations*. 2019; 24(2):701–710. doi: <https://doi.org/10.1007/s00784-019-02952-7>.

[12] Park SM, Park JM, Kim SK, Heo SJ, Koak JY. Flexural Strength of 3D-Printing Resin Materials for Provisional Fixed Dental Prostheses. *Materials*. 2020; 13(18):3970. doi: [doi:10.3390/ma13183970](https://doi.org/10.3390/ma13183970).

ANEXO A – NORMAS DA REVISTA BRAZILIAN DENTAL SCIENCE

Preparação do manuscrito

Para facilitar a edição do seu manuscrito e diminuir o tempo de publicação, siga as seguintes diretrizes e conselhos gerais simples:

1. Use espaçamento duplo em toda parte, com margens de 2 cm de cada lado, e parágrafo justificado Arial (tamanho 12).
2. O artigo não deve conter nenhuma identificação do autor.
3. Tenha especial cuidado ao usar ponto final como ponto decimal, não vírgula. Como corretor ortográfico, use o inglês americano.
4. Numere as páginas consecutivamente começando com o Resumo. Não numerar linhas.
5. Seja consistente: use a mesma forma de unidades, etc., e digite esses elementos exatamente da mesma maneira em todo o manuscrito. Coloque um espaço entre os dígitos e a unidade, por exemplo, 5,2 mm.
6. Ao enfatizar palavras (raramente necessário), use o recurso de itálico do software do processador de texto em vez do recurso de sublinhado.
7. Não use o I maiúsculo para 1 (um) ou o O maiúsculo para 0 (zero)
8. Use a barra de espaço apenas como separador de palavras, não como tabulador.
9. Formate tabelas usando as funções de tabela do seu processador de texto.

Estrutura geral dos manuscritos

1. **Resumo:** O resumo DEVE ser limitado a 250 palavras. O resumo deve indicar brevemente o(s) objetivo(s) do manuscrito, material e métodos, principais resultados e conclusões mais importantes e, portanto, deve apresentar os seguintes títulos: Objetivo, Material e Métodos, Resultados e Conclusões. Abreviaturas devem ser evitadas (exceto para siglas conhecidas como OMS, AIDS, etc.). NÃO inclua referências. O resumo deve ser formatado em um único parágrafo.
2. **Palavras-Chave:** Ofereça 5 palavras-chave em ordem alfabética após o resumo. Use termos da lista de cabeçalhos de assuntos médicos, que você pode encontrar em <https://meshb.nlm.nih.gov/search>. Essas palavras-chave serão usadas para fins de indexação.
3. **Introdução:** Forneça o contexto ou antecedentes para o estudo (ou seja, a natureza do problema e seu significado). Apenas referências pertinentes devem ser usadas. NÃO inclua dados ou conclusões do trabalho que está sendo relatado. No último parágrafo da seção Introdução, os autores DEVEM declarar de forma concisa o objetivo do estudo e, se aplicável, apresentar a hipótese do estudo.
4. **Material e Métodos:** Nesta seção, descreva todos os métodos, materiais e amostras para

que outros pesquisadores possam reproduzir a metodologia relatada. Use subtítulos apropriados para os diferentes segmentos da seção Material e Métodos, quando isso puder melhorar a objetividade.

5. Resultados: Apresente seus resultados em uma sequência lógica, dando as descobertas principais ou mais importantes primeiro, geralmente no passado, SEM comentários subjetivos e comparação com outros estudos. Para maior clareza, a seção Resultados pode ter subtítulos.

6. Discussão: A seção Discussão deve apresentar a interpretação dos resultados. Esta seção é a seção apropriada para comentários subjetivos e comparação com outros estudos. Os autores NÃO DEVEM repetir o que já foi relatado na seção Resultados.

7. Conclusão: A conclusão DEVE ser restrita aos principais resultados do manuscrito (resultados) e se esses dados confirmam ou rejeitam a hipótese do estudo. NÃO DEVE conter generalizações ou recomendações excessivas.

8. Agradecimentos: Agrupe os agradecimentos em uma seção separada no final do artigo antes das referências e, portanto, não os inclua na página de título, como uma nota de rodapé do título ou de outra forma. Liste aqui os indivíduos que forneceram ajuda durante a pesquisa.

9. Financiamento: Este estudo foi parcial ou totalmente apoiado por XXXXXXXXXXXXX [números de concessão xxxx, aaaa]. Se nenhum financiamento foi fornecido para a pesquisa, inclua a seguinte frase: "Esta pesquisa não recebeu nenhuma bolsa específica de agências de financiamento nos setores público, comercial ou sem fins lucrativos."

10. Conflito de Interesses: Os autores não têm interesse proprietário, financeiro ou outro interesse pessoal de qualquer natureza ou tipo em qualquer produto, serviço e/ou empresa apresentado neste artigo.

11. Figuras e tabelas: As figuras, tabelas e ilustrações estão embutidas no texto, e também fornecidas em arquivos separados com a resolução solicitada. Carregue as figuras como Material Suplementar (etapa 4 do processo de envio). As tabelas devem estar em formato word (incluindo títulos, descrição, notas de rodapé). As figuras devem estar em formato de arquivo eletrônico JPG ou TIFF. O tamanho do arquivo deve ser superior a 300 DPI, com mínimo de 1200 pixels. A dimensão das figuras deve estar próxima das dimensões desejadas da versão publicada. As dimensões devem ser 17 X 11 cm ou 8 X 5 cm.

12. Referência: As referências devem ser numeradas (números entre colchetes - por exemplo: [12]) conforme aparecem no texto e devem seguir o Sistema de Referência de Vancouver.