

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Ramiro Rocha Barcellos

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À
FRATURA DE DENTES RESTAURADOS
COM NOVAS ALTERNATIVAS DE
RETENTORES INTRARRADICULARES**

Passo Fundo

2021

Ramiro Rocha Barcellos

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À
FRATURA DE DENTES RESTAURADOS
COM NOVAS ALTERNATIVAS DE
RETENTORES INTRARRADICULARES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da UPF, para obtenção do título de Mestre em Odontologia – Área de Concentração em Clínica Odontológica, sob orientação da profa. Dra. Ana Paula Farina.

Passo Fundo

2021

Folha reservada para
Ata de aprovação da Banca Examinadora

Folha reservada para
Ficha catalográfica

BIOGRAFIA DO AUTOR

Ramiro Rocha Barcellos

Nascido em 06 de fevereiro de 1989 em Palmeira das Missões, Rio Grande do Sul. Graduado em Odontologia pela Universidade de Passo Fundo, em julho de 2013, trabalho de conclusão de curso titulado em: Resistência à fratura de raízes restauradas com prótese unitária em função da espessura dentinária e do retentor intrarradicular. Especialista em Implantodontia pela Avantis, em março de 2017, monografia titulada em: Estudo descritivo histológico das membranas de PRF propostas por Joseph Choukroun com protocolo utilizando centrífuga sorológica convencional. Atualmente é Cirurgião-dentista e responsável técnico do consultório odontológico do SESC unidade de Passo Fundo, responsável técnico das áreas de prótese, implantodontia e estética na Clínica Odontológica Excelência Oral.

OFERECIMENTOS E AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Débora, companheira de todas as horas, exemplo de pessoa e profissional, pelo incondicional apoio, compreensão e carinho.

Aos meus pais, Adriana e Mário, pelo exemplo de dignidade e perseverança, pelo apoio incondicional em todos os momentos de minha vida, dando o suporte necessário para meu crescimento.

A família da minha esposa, que sempre me incentivaram em meus estudos, e me acolheram como um filho.

A toda minha família.

À minha orientadora, Professora Doutora Ana Paula Farina, e meu coorientador, Professor Doutor Douglas Cecchin, pelos ensinamentos, ambos pelo exemplo de pessoas e profissionais. Por confiar na minha capacidade, pela amizade, pelos ensinamentos e, sobretudo, pela sua paciência em todos os momentos.

Aos professores do mestrado pelo ensinamento e incentivo.

Aos colegas de mestrado, pelos momentos e por dividirem comigo esta etapa tão importante.

À Universidade de Passo Fundo, que esteve presente em mais uma etapa de minha formação e por me oportunizar uma pós-graduação de excelência.

À Capes, por me proporcionar bolsa de estudos para minha formação.

Aos funcionários da Universidade de Passo Fundo, que colaboraram na execução da pesquisa.

SUMÁRIO

BIOGRAFIA DO AUTOR.....	5
OFERECIMENTOS E AGRADECIMENTOS	7
SUMÁRIO	9
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE ABREVIATURAS	12
RESUMO	13
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
3. PROPOSIÇÃO	29
4. MATERIAL E MÉTODOS	31
5. RESULTADOS.....	50
6. DISCUSSÃO	54
7. CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICES.....	71
ARTIGO A SER SUBMETIDO	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Divisão dos grupos experimentais	36
Tabela 2. A resistência à fratura média (N) e desvio padrão (SD) para cada um dos nove grupos experimentais	51
Tabela 3. A resistência à fratura média (N) e desvio padrão (SD) para cada um dos fatores e para a interação dos fatores.....	51
Tabela 4. Distribuição de modos de falha em grupos experimentais (n = 10).....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Preparos realizados, com a padronização da férula	33
Figura 2. Esquema demonstrativo dos preparos	34
Figura 3. Processo de confecção do retentor usinado.....	39
Figura 4. Retentor Splendor – SAP.....	41
Figura 5. Coroa metálica	43
Figura 6. Dispositivo confeccionado em aço inox	45
Figura 7. Máquina de ciclagem pneumática Biopid.....	46
Figura 8. Teste de resistência à fratura em máquina de ensaios universal Instron. a) posicionamento da amostra no dispositivo e posicionamento do pistão no centro da coroa; b) Máquina utilizada no teste.....	47
Figura 9. Análise do padrão de falha.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS

%	Porcentagem
°	Grau
°C	Graus Celsius
3D	Tridimensional
Cm	Centímetros
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
GPa	Gigapascal
H	Hora
Hz	Hertz
M	Metro
Min	Minuto
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
N	Newton
PFS	Pino de fibra de vidro Splendor – SAP
PFU	Pino de fibra de vidro usinado em CAD/CAM
PMR	Pino modelado com resina composta
s	Segundos
SAP	Single Adjustable Post

AValiação DA RESISTÊNCIA À FRATURA DE DENTES RESTAURADOS COM NOVAS ALTERNATIVAS DE RETENTORES

Ramiro Rocha Barcellos¹

RESUMO

Destruição coronária é uma realidade clínica, causada por cáries, fraturas ou acessos endodônticos não conservadores. Reabilitar estes dentes exige a seleção de um adequado retentor intrarradicular. Objetivo: Avaliar a resistência à fratura e padrão de fratura de raízes restauradas com diferentes tipos de retentores intradiculares e remanescentes dentinário após a realização de ciclagem mecânica. Métodos: Foram selecionados 90 dentes bovinos unirradiculares com dimensões padronizadas. Eles foram aleatoriamente divididos em 9 grupos (n=10) de acordo com o retentor e remanescente dentinário: pino modelado com resina composta (PMR); pino de fibra de vidro usinado CAD/CAM (PFU) e pino de fibra de vidro Splendor – SAP (PFS); espessuras dentinárias 0,5mm, 1mm e 2mm. Férula confeccionada nos grupos com espessuras de 1mm e 2mm. Amostras foram incluídas em resina acrílica, receberam coroas metálicas e submetidas à ciclagem mecânica 1.000.000 de ciclos, frequência 2Hz, carga 50N. Após submetidas ao teste de resistência à fratura em máquina de ensaios universal. As amostras foram classificadas quanto ao modo de fratura em reparáveis ou irreparáveis. Os dados de resistência à fratura foram analisados estatisticamente teste Anova seguido teste de Tukey, significância 5%. Resultados: Os retentores não apresentaram diferença estatística entre si ($P>0,05$); raízes com espessura de 2mm de espessura apresentaram maior resistência em relação aos demais ($P<0,01$). A interação foi avaliada, houve diferença estatística ($P<0,01$) grupos espessura dentinária 2mm e grupo com espessura 1mm restaurado com PFS, apresentaram maior resistência à fratura. Prevalência de falhas reparáveis foi observada em todos os grupos. Conclusão: Os retentores PFU e PFS parecem ser uma boa alternativa ao PMR. Espessura dentinária radicular é importante para adequada reconstrução dentária.

Palavras-chave: Resistência a fratura, Pino de fibra de vidro, Férula, CAD/CAM, Splendor - SAP

¹ Aluno de pós-graduação PPGOdonto - UPF

ABSTRACT²

Coronary destruction is a clinical reality, caused by caries, fractures or non-conservative endodontic access, rehabilitating these teeth is a major limitation. Objective: To evaluate the fracture resistance and fracture pattern of roots restored with different types of intraradicular retainers and dentin remnants. Methods: 90 single-rooted bovine teeth with standardized dimensions were selected. Randomly divided into 9 groups (n=10) according to the retainer and remaining dentin: post modeled with composite resin (PMR); CAD/CAM machined fiberglass pin (PFU) and Splendor – SAP fiberglass pin (PFS); dentin thicknesses 0.5mm, 1mm and 2mm. Ferrule made in groups with thicknesses of 1mm and 2mm. Samples were embedded in acrylic resin, received metallic crowns and submitted to mechanical cycling 1,000,000 cycles, frequency 2Hz, load 50N. After being submitted to the fracture resistance test in a universal testing machine. The samples were classified according to the mode of fracture, repairable or irreparable. The fracture resistance data were statistically analyzed using the Anova test followed by the Tukey test, 5% significance. Results: The retainers did not show any statistical difference between them ($P>0.05$); There was a difference in dentinal thickness, groups with a thickness of 2mm in relation to the others ($P<0.01$). The interaction was evaluated, there was a statistical difference ($P<0.01$), 2mm dentin thickness groups and 1mm thickness group restored with PFS had higher fracture load. Prevalence of repairable failures was observed in all groups. Conclusion: PFU and PFS retainers seem to be a good alternative to PMR. Dentin root thickness is important for adequate tooth reconstruction.

Keywords: Fracture resistance, Glass fiber post, Ferrule, CAD/CAM, Splendor - SAP

² Evaluation of fracture resistance of teeth restored with new retainers alternatives.

1. INTRODUÇÃO

Dentes tratados endodonticamente podem apresentar perda de estrutura causada por cárie, fratura ou acesso endodôntico, reduzindo assim a quantidade de estrutura coronária remanescente. Muitas vezes, esses dentes apresentam dentina radicular com paredes finas, dificultando o procedimento restaurador (ZHANG *et al.*, 2019). A utilização de retentores intrarradiculares para suportar futuras restaurações vem sendo aperfeiçoada, a fim de tentar encontrar retentores mais estáveis e resistentes, com propriedades mecânicas próximas da dentina radicular (GALHANO *et al.*, 2005). Os núcleos metálicos fundidos foram e ainda são muito utilizados. Eles apresentam alto módulo de elasticidade, muito superior à da dentina radicular, e por este motivo, quando ocorre fratura dentinária, a maioria delas apresentam padrões de falha são irreparáveis, (BARCELLOS *et al.*, 2013; REZAEI DASTJERDI *et al.*, 2015; BILGIN *et al.*, 2016).

Os pinos de fibra de vidro tem apresentado resultados satisfatórios, porém possuem algumas limitações (BARCELLOS *et al.*, 2013; PANITIWAT *et al.*, 2017). Em canais amplos, onde não

existe adequada adaptação do pino, a linha de cimentação torna-se muito espessa, o que pode levar ao aumento da contração de polimerização do cimento e formação de gaps que predisõem à falha de união (FARINA *et al.*, 2016). Por isso, foi proposto o reembasamento do pino com resina composta, criando um retentor individualizado com melhor adaptação ao canal radicular e, consequentemente, reduzida linha de cimentação (GRANDINI *et al.*, 2003; FARIA-E-SILVA *et al.*, 2009; FARINA *et al.*, 2016).

Outra opção de retentor, que apresenta uma individualização total do pino, é o núcleo de pino de fibra de vidro, que é confeccionado através de uma moldagem do conduto, e o mesmo é confeccionado em CAD/CAM. Esta confecção ocorre a partir de um bloco, que contém em sua composição 80% de fibras de vidro e 20% de resina epóxi, seguindo a linha do pino de fibra de vidro modelado, porém em um corpo único, tanto retentor quanto o preparo para receber a coroa, do mesmo material. O mesmo não apresenta porosidades, e confeccionado através de fresadoras, o que aumenta a adaptação e consequentemente diminui a linha de cimentação (DE FRANCA *et al.*, 2017). Estudo recente mostrou que a técnica de fabricação em CAD/CAM melhora a retenção do núcleo ao canal radicular, e aumenta a resistência à fratura (PANG *et al.*, 2019).

Frente ao elucidado, o objetivo do presente estudo foi avaliar a resistência à fratura e o padrão de fratura de raízes restauradas com diferentes tipos de retentores intrarradiculares (pino de fibra de vidro

modelado com resina composta (PMR), pino de fibra de vidro usinado em CAD/CAM (PFU), e pino de fibra de vidro pré fabricado Splendor – SAP (PFS)) e remanescente dentinário radicular (2mm de espessura, 1mm de espessura, e 0,5mm de espessura), Hipótese 1: raízes restauradas com PFU possuem semelhante resistência à fratura comparada as raízes restauradas com PMR e o PFS. Hipótese 2: raízes com maior espessura dentinária e com a presença de férula, apresentam maior resistência à fratura. Hipótese 3: que o padrão de fratura é semelhante em ambos os tipos de retentores, sendo na sua maioria, fraturas reparáveis.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Evolução dos retentores

Segundo ZOGHEIB *et al.* (2008) a preservação e a restauração de dentes severamente debilitados sem suporte dentinário no terço cervical do canal radicular é um procedimento difícil e de prognóstico duvidoso. Raízes fragilizadas foram menos resistentes à fratura e apresentaram menos fraturas favoráveis a reabilitação do que as raízes íntegras.

CARLINI-JUNIOR *et al.* (2013) analisaram a resistência a fratura de raízes que foram restauradas com pinos metálicos, com ou sem qualquer estrutura coronal restante e com linhas de acabamento diferentes. Sessenta incisivos bovinos foram seccionados abaixo da junção amelocementária, tratados endodonticamente e divididos aleatoriamente em seis grupos ($n = 10$) contendo os dentes com ou sem qualquer estrutura coronal remanescente, e com um ombro design. Os pinos metálicos foram cimentados com cimento resinoso. Os núcleos foram feitos com resina composta e coroas metálicas foram cimentados com cimento fosfato de zinco. Os espécimes foram submetidos a uma tangencial carga de compressão (135°) a uma

velocidade de cruzeta de 0,5 mm / min até a falha, usando uma máquina universal de ensaios. Os dados de resistência à fratura foram analisados pela ANOVA e LSMeans (método dos quadrados mínimos), testes ($\alpha = 0,05$). Pode concluir-se que, para aumentar a resistência à fratura, um ombro chanfrado e 2 mm de remanescente coronal de estrutura são as condições ideais.

BARCELLOS *et al.* (2013) verificaram a resistência à fratura e análise do padrão de falha de 3 tipos de retentores (núcleo metálico fundido, pino de fibra de vidro e pino de fibra de vidro modelado com resina composta), variando a espessura dentinária remanescente, utilizando como grupo controle do estudo dentes hígidos. No trabalho foi constatado que os pinos de fibra de vidro modelado apresentaram resistência à fratura semelhante ao grupo controle (dentes hígidos), tanto em raízes padrão quanto em raízes fragilizadas e todas as fraturas foram classificadas como reparáveis.

FARINA *et al.* (2015) investigaram a influência do comprimento dos pinos intrarradiculares e a quantidade do remanescente radicular sobre a resistência à fratura de raízes restauradas com pinos de fibra revestida com resina composta. Noventa dentes caninos superiores foram divididos em nove grupos ($n = 10$). Os espaços para os pinos foram preparados resultando em diferentes comprimentos, como se segue: grupo 2/3, preparações com comprimentos de 10 mm; grupo 1/2, preparações com comprimentos de 7,5 mm; e grupo 1/3, as preparações com comprimentos de 5 mm.

Cada grupo foi dividido em 3 subgrupos de acordo com a quantidade do restante de tecido dentário radicular (2, 1 mm ou 0,5 mm de espessura raiz). Os pinos de fibra de vidro revestidos com resina composta foram cimentados, e todos os dentes foram restaurados com coroas de metal. As amostras foram submetidas ao teste de resistência à fratura em uma máquina de ensaios universal, com um ângulo de 135° e velocidade de 0,5mm/min. Os modos de falha foram observados e os dados de resistência à fratura foram submetidos ao ANOVA e Tukey ($\alpha=0,05$). Não houve diferença estatisticamente significativa na resistência à fratura entre os diferentes comprimentos dos pinos ($P>0,05$). A espessura de dentina de 2 e 1mm não diferiram estatisticamente na resistência à fratura ($P>0,05$), que foi superior a de 0,5 mm de espessura da dentina ($P<0,05$). A prevalência de insuficiência reparáveis foi observada em todos os grupos. Concluíram que o comprimento do pino de fibra revestido com resina composta não influencia a resistência de fratura, mas a espessura era um fator importante para a restauração de dentes endodonticamente tratados.

FARINA *et al.* (2016) verificaram a influência do tipo de cimento e a individualização dos retentores (reembasados com resina composta) na resistência de união. Quarenta raízes dos incisivos bovinos foram divididos em quatro grupos: grupo 1, cimentação pino de fibra de vidro (FP) com RelyX Unicem; grupo 2, FP revestida com resina composta (FPC) cimentação com RelyX Unicem; grupo 3, cimentação FP com RelyX ARC; grupo 4, cimentação FPC com

RelyX ARC. Em seguida, metade das amostras foram expostas a 250.000 ciclos num simulador de mascar controlada. Com a outra metade das amostras em cada grupo, o teste de extração foi realizada 24 horas após a FP (cimentação grupos imediatos). Todas as raízes foram seccionadas transversalmente, a produção de fatias de 1 mm de espessura, e o teste de resistência de adesão através do teste de push-out foi realizada. A análise estatística foi realizada utilizando ANOVA e o teste de Tukey. O FPC apresentou valores de resistência à adesão superior ao FP, e o cimento RelyX Unicem apresentou maior resistência de união que o RelyX ARC. Os autores concluíram que o procedimento de reembasamento do retentor e o tipo de cimento são fatores importantes para a resistência de união.

RUSCHEL *et al.* (2018) avaliaram a resistência, o módulo de elasticidade, o modo de falha, a morfologia superficial e a rugosidade de dois retentores (fibras verticais e fibras horizontais ao longo eixo do retentor), fabricados em CAD/CAM a partir de um bloco de fibra de vidro, comparados com um retentor pré-fabricado em fibra de vidro. Uma imagem virtual foi obtida através do retentor pré-fabricado para a confecção dos demais retentores, assim mantendo as mesmas dimensões. Após a confecção de todos os corpos de prova os mesmos foram encaminhados para a microscopia confocal a laser para análise da rugosidade superficial e morfologia. Em seguida foram submetidos ao teste de flexão de 3 pontos para analisar a resistência à flexão e o módulo de elasticidade. Os dados foram submetidos à análise de uma

via de variância seguida pelo teste de Student-Newman-Keuls. Após as fraturas as amostras foram analisadas por um microscópio eletrônico de varredura. Os autores verificaram que a rugosidade superficial dos pinos pré-fabricados foi maior que os grupos experimentais, e entre eles não apresentaram diferença. Os grupos não apresentaram diferença estatística em relação às propriedades mecânicas, a força flexural foi mais elevada no pinos pré-fabricados. Concluíram que os retentores pré-fabricados apresentaram maior força flexural e módulo de elasticidade, assim também, como maior rugosidade superficial que os grupos experimentais.

CALDAS *et al.* (2018) procuraram elucidar a influência do deslocamento na distribuição de tensões e tensões máximas para restaurações intrarradiculares. Os autores analisaram por análise de elementos finitos 5 restaurações intrarradiculares (núcleo metálico fundido, pino de fibra de vidro, núcleos metálicos pré-fabricados, resina composta pela técnica endocrown, e peça única endocrown). Avaliaram também a influência da presença ou ausência da férula. A simulação foi realizada em 3 passos, ligações intactas em todos os contatos, falha na ligação entre coroa e dente, e falha de adesão entre os dentes, pinos e coroa. Para a estrutura de dentina foram comparados com os valores publicados de resistência, resistência à fadiga, e padrões de fratura de dentes com restaurações intrarradiculares. Com base nos resultados encontrados os autores concluíram que a simulação dos pinos intrarradiculares perfeitamente unidos, não

coincidem com os dados publicados de falha experimental e a simulação de falha de adesão completa tem uma melhor correlação com dados experimentais e é recomendado para avaliar a união de pinos intrarradiculares em análise de elementos finitos.

PANG *et al.* (2019) investigaram as propriedades de resistência à fratura de incisivos superiores com canais alargados restauradas com desenho assistido por computador e fabricação assistido por computador (CAD/CAM). Foram selecionados trinta canais radiculares preparados *in vitro* e restaurados com o CAD/CAM integrado pino de fibra e núcleo (Grupo A), pinos de fibra pré-fabricados (Grupo B), e pinos fundidos em liga de ouro (Grupo C). Depois de submetida à carga de fadiga (300.000 ciclos), cada amostra foi submetida a uma carga estática até ocorrer a fratura. Análise de variância (ANOVA) usada para determinar as diferenças estatísticas. As resistências à fratura média dos grupos A e C foram significativamente maiores do que as do Grupo B, ao passo que não foram observadas diferenças entre os Grupos A e C. Além disso, os modos de fratura reparáveis foram observados na maior parte do Grupo A, ao passo que fraturas irreparáveis e catastróficas foram encontrados principalmente em grupos B e C. Estes resultados demonstram que, em comparação com os tratamentos tradicionais, CAD/CAM de fibra de vidro integrado preparo e pino aumenta significativamente a resistência à fratura de canais radiculares.

ZHANG; HAN; LIU e DENG (2019) compararam a resistência de união de pinos em monobloco (CAD/CAM), pinos de fibra de vidro pré-fabricados e pinos de fibra plástica, avaliando também os efeitos dos ciclos térmicos na força de união. Foram utilizados dentes humanos extraídos ($n = 90$), os mesmos foram tratados endodonticamente e divididos aleatoriamente em três grupos ($n = 30$ cada). Os dentes foram restaurados com os três tipos de retentores já citados. Após a cimentação, as amostras foram armazenadas em água destilada a 37°C por 7 dias. As amostras semi-coladas de cada grupo foram submetidas à ciclagem térmica (6.000 vezes, 5 a 55°C) antes do teste de resistência de união por micro-push-out. A fabricação de corpos de prova de resistência de união por micro-push-out foi realizada por uma máquina de fatiar com precisão. A força de união foi testada usando uma máquina de teste universal e os modos de falha foram examinados com um estereomicroscópio, realizando avaliação antes e após 6.000 ciclos térmicos (5°C a 55°C). Verificou-se que os tipos de pinos e as regiões do canal radicular afetam significativamente a resistência da união no teste de push-out. Em comparação com os outros dois grupos, os pinos e núcleos de fibra de vidro de uma peça apresentou a maior força de união cervical, média e apical. A ciclagem de temperatura não tem efeito significativo sobre a resistência de união do micro push-out dos três tipos de pinos. Os autores concluíram que as peças de corpo único, fabricadas em CAD/CAM tem melhor resistência de união que os demais retentores testados.

Pino de fibra de vidro modelado com resina composta- PMR

A literatura nos mostra que pinos de fibra de vidro, quando comparados com núcleos metálicos fundido, apresentam menor resistência à fratura, porém apresentam fraturas reparáveis, enquanto os núcleos metálico-fundidos apresentam, na sua maioria, fraturas irreparáveis (SOUNDAR *et al.*, 2014).

Existe uma limitação e dificuldade na utilização dos pinos de fibra de vidro em raízes enfraquecidas, e ou, com canais amplos, devido a padronização dos tamanhos dos pinos, e muitas vezes não existe um pino de dimensões adequadas, que tenha uma justa adaptação ao conduto, principalmente no terço cervical, aumentando assim, o risco de falha (GRANDINI *et al.*, 2005; DIMITROULI *et al.*, 2012).

A técnica que foi proposta para aumentar a resistência, é a anatomização deste retentor com resina composta, individualizando e o tornando anatomicamente modelado ao conduto radicular (GRANDINI; SAPIO; SIMONETTI, 2003). Com uma melhor adaptação ao conduto, aumenta a resistência do conjunto, pois a região mais frágil na cimentação do pino é a interface entre o pino e a dentina radicular, e este tipo de retentor diminui a linha de cimento devido a sua anatomização ao conduto (FARIA-E-SILVA *et al.*, 2009). O comprimento do pino de fibra de vidro não influencia na resistência à

fratura de raízes restauradas protéticamente, sendo que metade do comprimento radicular já é suficiente para promover adequada resistência à fratura, quando pinos de fibra de vidro modelados são utilizados (CECCHIN *et al.*, 2010; FARINA *et al.*, 2015).

Os pinos de fibra de vidro se mostraram com o módulo de elasticidade semelhante ao da dentina radicular, assim levando a fraturas na maioria das vezes, reparáveis (SARY *et al.*, 2019). Esses retentores além de possuírem módulo de elasticidade semelhante a dentina radicular, estes são resistentes a corrosão, tem boa resistência a tração, são retentivos devido à justaposição no canal radicular e apresentam na sua maioria um padrão de falha reparável (DALLARI *et al.*, 2006; SALAMEH *et al.*, 2006)

Pino de fibra de vidro usinado em CAD/CAM - PFU

Denominados comercialmente como FIBER CAD – Post e Core (Angelus, Londrina, PR, Brasil), são blocos de composição de 80% de fibra de vidro e 20% de resina epóxi, são utilizados para confecção de núcleos anatômicos e estéticos pelo sistema CAD/CAM, com isso, ele apresenta uma confecção e ajuste mais rápido e fácil que uma fundição, reduz o tempo de consultório, aumenta a resistência mecânica e a fácil cimentação devido a ideal adaptação no conduto. Essa personalização melhora a adaptação do pino no interior do canal radicular, aumentando a retentividade do mesmo, com uma retenção semelhante aos núcleos metálicos e significativamente superior que os

pinos pré-fabricados (TSINTSADZE *et al.*, 2017), a análise de push-out, os resultados foram significativamente maiores que neste retentor, quando comparado com retentores pré-fabricados (EID *et al.*, 2019). Por se tratar de um retentor estético, facilita a confecção de coroas livre de metal e laminados cerâmicos, sua resistência à flexão é próximo de 1.000 MPa, o módulo de elasticidade semelhante ao da dentina, com isso reduz o risco de fratura da raiz, além de se tratar de um serviço inovador (Angelus, 2019). O PFU não afetam a resistência à fratura de canais radiculares alargados ou causam falhas irreparáveis, quando usados coroas de zircônia como opção de reconstrução (DA COSTA *et al.*, 2017). Os PFU apresentam menor resistência à flexão e menor rugosidade superficial em relação aos pinos pré-fabricados em fibra de vidro (RUSCHEL *et al.*, 2018).

Pino de fibra de vidro universal - PFS

Denominados comercialmente como SPLENDOR – SAP (Single Adjustable Post) (Angelus, Londrina, PR, Brasil), sua composição é de 80% de fibra de vidro e 20% de resina epóxi, apresenta uma menor quantidade de modelos e brocas para obter uma melhor adaptação na região cervical, área que apresenta uma maior amplitude do conduto. Isso ocorre porque o produto apresenta apenas uma broca para preparo do conduto, um pino de diâmetro único e uma luva que se adapta a todos os diâmetros dos condutos. Outras características do sistema é a possibilidade de preparos conservadores,

proporciona um maior embricamento mecânico, a sua composição em fibra de vidro proporciona um módulo de elasticidade próximo ao da dentina radicular (ANGELUS, 2021).

3. PROPOSIÇÃO

Objetivos gerais

Avaliar a resistência à fratura e o padrão de fratura de raízes restauradas com diferentes retentores intrarradiculares em diferentes espessuras radiculares, após a ciclagem mecânica.

Objetivos específicos

Avaliar a influência dos retentores pino modelado com resina composta, pino de fibra de vidro usinado CAD/CAM e pino de fibra de vidro Splendor – SAP, na resistência a fratura das raízes.

Avaliar a influência da espessura dentinária de 2mm, 1mm e 0,5mm, na resistência a fratura das raízes.

Avaliar o modo de falha das amostras em reparáveis ou irreparáveis.

Hipóteses:

As raízes restauradas com pinos de fibra de vidro usinados em CAD/CAM possuiriam semelhante carga de fratura que as raízes restauradas com os demais retentores.

Raízes com maior espessura dentinária e com a presença de férula, apresentaria maior resistência à fratura.

O padrão de falha das amostras restauradas com retentores usinados em CAD/CAM apresentaria na sua maioria fraturas reparáveis, semelhante aos pinos de fibra de vidro modelado.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Delineamento experimental

Dentes bovinos unirradiculares (n=90), foram utilizados para o estudo. Para a reconstrução coronária foram utilizados 3 tipos de retentores intrarradiculares: PMR, PFU, e, PFS. As raízes receberam preparos e as dimensões finais foram as seguintes: 2mm de espessura dentinária e presença de férula, 1mm de espessura dentinária e presença de férula, e, 0,5mm de espessura dentinária sem presença de férula).

Seleção e preparo dos dentes

Foram selecionados 90 dentes bovinos unirradiculares. Estes foram extraídos logo após o abate dos animais, limpos e em seguida armazenados em recipiente térmico com gelo. Os dentes permaneceram congelados a -10°C até o momento de seu uso, mantendo o armazenamento de no máximo 45 dias.

Foi realizada a seleção e padronização das dimensões das raízes, 6 a 6,5mm sentido mésio-distal e 7 a 8mm sentido vestibulo-lingual, os quais foram medidos com auxílio de um paquímetro digital.

Utilizando um paquímetro digital e caneta para retroprojeto, foi realizado uma marcação em 60 dentes a 15mm acima do ápice radicular; e, em 30 dentes a marcação foi em 13mm acima do ápice radicular. Neste ponto, houve a secção com o auxílio de um disco diamantado dupla face (KGSorensen, Barueri, SP, Brasil), separando a porção coronária da radicular. O tecido pulpar remanescente foi removido utilizando limas endodônticas tipo K #40 (Dentsplay-Maillefer, Bellaiguess, Suíça), sob abundante irrigação com soro fisiológico.

O preparo do conduto foi realizado com broca gates-glidden (Dentsplay-Maillefer, Bellaiguess, Suíça) de calibre 2 e 3, a uma profundidade de 12mm nas amostras com comprimento total de 15mm, mantendo em todas as amostras um selamento apical com cotosol (Coltene, Rio de Janeiro, RJ, Brasil). A padronização das paredes dentinárias foi confeccionada por meio de desgastes com brocas diamantadas, inicialmente em alta rotação, terminando em baixa rotação sob refrigeração constante. Primeiramente realizado um desgaste de profundidade no comprimento total da desobturação, com ponta diamantada esférica número 1014 (1,4mm de diâmetro) nos grupos onde a espessura dentinária foi de 2mm, nos grupos onde a espessura dentinária foi de 1mm este preparo foi realizado com uma broca esférica diamantada 1016 (1,8mm diâmetro), para as amostras com 0,5mm de espessura dentinária, foi realizado o desgaste com a ponta diamantada esférica número 3017 HL (2,5mm de diâmetro). Ao

final do preparo, as paredes dentinárias remanescentes apresentaram 2mm, 1mm e 0,5mm de espessura respectivamente, controladas por espessímetro essa verificação foi feita a cada mm de instrumentação durante a realização do preparo. Os grupos com espessura dentinária de 2mm e 1mm durante o preparo, foi realizado um prepara para simular o efeito de férula com 1mm e 0,5 mm de espessura, respectivamente (figura 1)

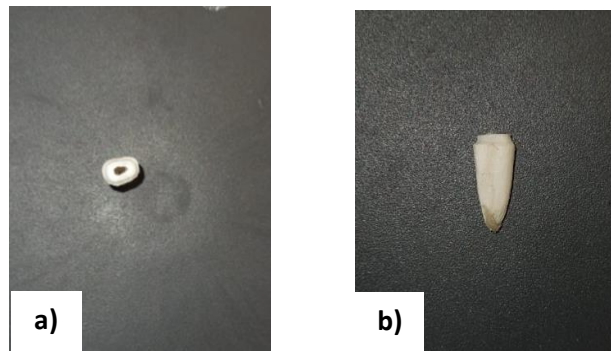


Figura 1. Preparos realizados, com a padronização da férula. a) Vista oclusal; b) Vista mesial.

Nos grupos em que a espessura dentinária de 0,5mm, não foi confeccionado o efeito de férula, assim simulando uma raiz totalmente fragilizada. O comprimento das amostras padronizado em 15mm para os grupos com 1 e 2 mm de espessura radicular, sendo 13mm de comprimento radicular e 2mm de altura de férula. Já nos grupos com

raízes de 0,5mm de espessura, o comprimento total da amostra de 13mm, simulando a perda da férula e a fragilização dental (Figura 2).

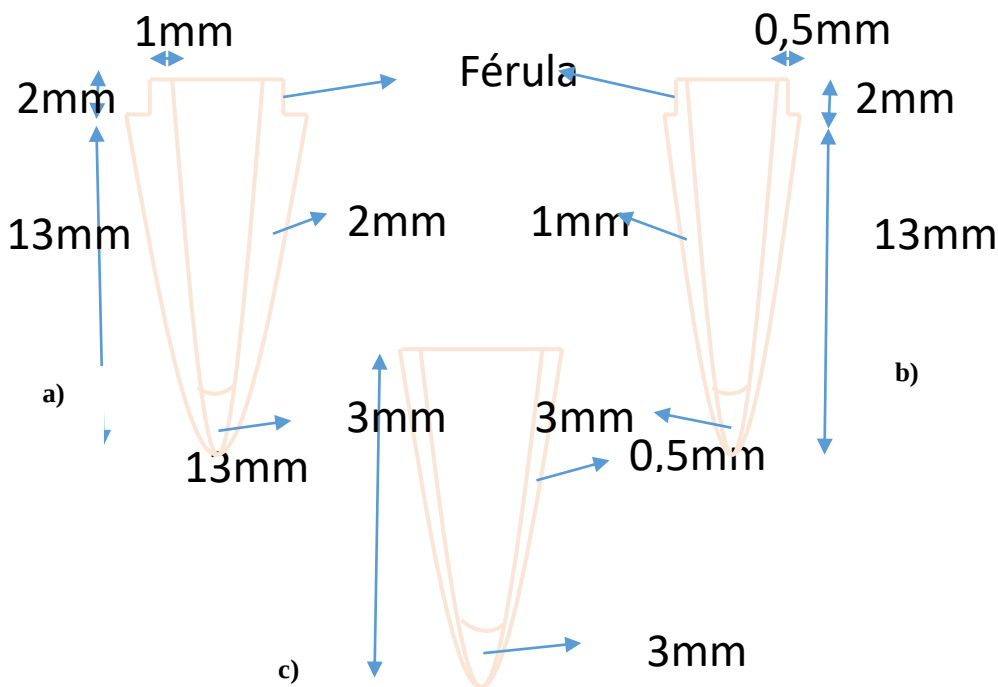


Figura 2. Esquema demonstrativo dos preparos: **a)** Grupos com altura de 15mm, espessura dentinária de 2mm e presença de férula; **b)** Grupos com altura de 15mm, espessura de 1mm e presença de férula; **c)** Grupos com altura de 13mm, espessura dentinária de 0,5mm e ausência de férula.

Divisão dos grupos experimentais

Logo após a padronização das espessuras dentinárias dos canais radiculares, as raízes foram divididas aleatoriamente em 9 grupos da seguinte forma:

- Grupo 1 raízes com 2mm de espessura restaurados com pinos modelados com resina composta (PMR);
- Grupo 2, raízes com 1mm de espessura restaurados com pinos modelados com resina composta (PMR);
- Grupo 3, raízes com 0,5mm de espessura restaurados com pinos modelados com resina composta (PMR);
- Grupo 4, raízes com 2mm de espessura restaurados com pinos de fibra de vidro usinados em CAD/CAM (PFU);
- Grupo 5, raízes com 1mm de espessura restaurados com pinos de fibra de vidro usinados em CAD/CAM (PFU);
- Grupo 6, raízes com 0,5mm de espessura restaurados com pinos de fibra de vidro usinados em CAD/CAM (PFU);
- Grupo 7, raízes com 2mm de espessura restaurados com pinos de fibra de pré-fabricados vidro Splendor – SAP (PFS);

- Grupo 8, raízes com 1mm de espessura restaurados com pinos de fibra de vidro pré-fabricados Splendor – SAP (PFS);
- Grupo 9, raízes com 0,5mm de espessura restaurados com pinos de fibra de vidro pré-fabricados Splendor – SAP (PFS).

Tabela 1. Divisão dos grupos experimentais

Grupos	Espessura dentinária	Retentor	Presença de férula	N
1	2 mm	PMR	Sim	10
2	1 mm	PMR	Sim	10
3	0,5 mm	PMR	Não	10
4	2 mm	PFU	Sim	10
5	1 mm	PFU	Sim	10
6	0,5 mm	PFU	Não	10
7	2 mm	PFS	Sim	10
8	1 mm	PFS	Sim	10
9	0,5 mm	PFS	Não	10

PMR (Pino modelado com resina composta); **PFU** (Pino de fibra de vidro usinado CAD/CAM); **PFS** (Pino de fibra de vidro pré-fabricado Splendor – SAP)

Preparo dos retentores

Nos grupos I, II e III, primeiramente realizou-se a limpeza superficial do pino de fibra de vidro Reforpost (Angelus, Londrina, PR, Brasil) com ácido fosfórico por 30 segundos (CECCHIN *et al.*, 2012) e após lavagem com água por 1 minuto. Aplicou-se o silano (Angelus, Londrina, PR, Brasil), seguido de uma aplicação de bond do sistema adesivo Adpter Scotchbond Multipurpose (3M ESPE, St Paul, MN, EUA) e fotoativado por 40 segundos cada face, aplicando em duas faces opostas. Em seguida o gel de natrosol (Natupharma, Passo Fundo, RS, Brasil) foi aplicado no canal radicular a fim de lubrificá-lo. O pino foi envolvido com resina composta Filtek Z350 (3M ESPE, St Paul, MN, EUA) e o conjunto levado ao interior do canal. Este conjunto foi retirado e recolocado duas vezes, e fotoativado em posição no interior do canal por 3 segundos. Realizada uma marcação na região vestibular do pino e do dente para posterior identificação e ser cimentado no local correto. Logo após, o pino reembasado foi removido do interior do canal radicular e realizada a polimerização final por 40s sobre a face vestibular e 40s sobre a face palatina. Com o pino pronto, realizou-se a irrigação do canal com 20ml de soro fisiológico para remover o isolante. Logo após o canal foi seco com pontas de papel absorvente, em seguida realizado a cimentação do PMR conforme descrito posteriormente.

Nos grupos IV, V e VI confeccionou-se uma moldagem direta do conduto com resina acrílica de baixa contração (GC, Alsip, Illinois,

USA) e auxílio de pinos pré-fabricados de acrílico tipo Pinjet (Angelus, Londrina, PR, Brasil), obtendo assim uma moldagem em formato cônico, com retenção passiva. Após a moldagem do conduto, foi confeccionado o preparo acima deste retentor de forma padrão, mantendo todos a mesma altura (4mm), modificando apenas a espessura, sendo adequada à espessura de cada raiz e de forma que o espaço para a confecção da coroa de 1mm. Em seguida, foi realizado o escaneamento da moldagem com scanner de laboratório, e realizado o desenho do pino em software (CAD/CAM) para posteriormente realizar a usinagem do pino Fiber Cad – Post e Core (Angelus, Londrina, PR, Brasil) (Figura 3).

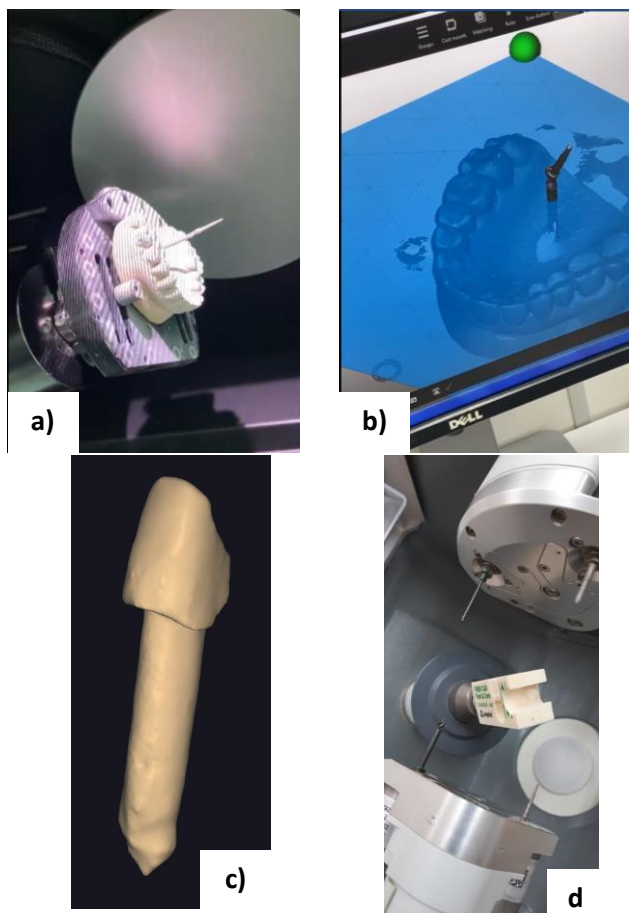


Figura 3. Processo de confecção do retentor usinado. a) Scanner; b) Desenho no software; c) Projeto/Desenho finalizado; d) Usinagem

Com o retentor pronto, foi realizada a limpeza superficial do mesmo com ácido fosfórico por 30 segundos (CECCHIN *et al.*, 2012) e após lavagem com água por 1 minuto. Aplicou-se o silano (Angelus, Londrina, PR, Brasil), seguido de uma aplicação de bond do sistema adesivo Adpater Scotchbond Multipurpose (3M ESPE, St Paul, MN, EUA) e fotoativado por 40 segundos cada face, aplicando em duas faces opostas, assim estando pronto para a cimentação.

Nos grupos VII, VIII e IX onde foram utilizados os pinos de fibra de vidro pré-fabricado Splendor – Single Adjustable Post (Angelus, Londrina, PR, Brasil). Primeiramente utilizamos o adaptador (luva) do retentor, essa luva é cônica de espessura e comprimento padronizado pelo fabricante (12mm de altura, 1,4mm de diâmetro na região apical e 2,4mm de diâmetro na região de topo do retentor), ela se “encaixa” no conduto, e trava no comprimento em que a conicidade do canal radicular é menor que a da luva (Figura 4).



Figura 4. Retentor Splendor – SAP

Após a seleção, esses pinos receberam o mesmo tratamento que foi realizado nos grupos anteriores (ácido fosfórico, silano e bond). Dessa forma, o retentor estava pronto para a cimentação, que neste grupo, ocorreu primeiramente, a cimentação do pino universal, e em seguida a luva sobre o retentor, que tem suas dimensões padronizadas pelo fabricante.

Cimentação do retentor radicular

Primeiramente realizou-se a limpeza do conduto com 5ml de soro fisiológico e após, secagem com cones de papel. O cimento resinoso dual RelyX U200 (3M ESPE, St. Paul, MN, EUA) foi dispensado sobre um bloco de papel impermeável e manipulado por 10 segundos. Com o auxílio de seringas do sistema Centrix e agulha Acudosse (DFL, Rio de Janeiro, RJ, Brasil) o cimento foi levado ao

interior do canal radicular e sobre a superfície dos retentores aplicado uma fina camada do cimento. Posicionou-se o pino no interior do canal radicular, estabilizando manualmente por 20s e realizando a fotopolimerização por 5s, então, removeu-se os excessos de cimento, e logo após realizado uma fotoativação por 40s em cada face (vestibular, lingual, mesial e distal). Esta técnica e material foram utilizadas para todos os grupos, portanto, para os retentores PMR, PFU e PFS.

Confecção da coroa

Para restaurar a parte coronal nos grupos com PMR e PFS (grupos I, II, III, VII, VIII E IX), a técnica incremental foi utilizada, usando resina composta Z250 (3M ESPE, St Paul, MN, EUA) em torno dos pinos para fazer o preenchimento dos núcleos. Para uniformizar o tamanho, uma matriz foi confeccionada com 4mm de altura (nos grupos com a presença da férula essa dimensão foi de 2mm acima da férula) e 3mm de diâmetro (adequando ao diâmetro da raiz, procurando deixar o espaço de 1mm para a confecção da coroa metálica) para realizar a aplicação das últimas camadas de resina. Já nos grupos com PFU (grupos IV, V E VI), a porção coronária foi confeccionada no momento da moldagem do conduto com resina acrílica de baixa contração (GC, Alsip, Illinois, USA), utilizando a técnica incremental para a confecção da mesma, sendo assim, mantendo um corpo único entre retentor e porção coronária (núcleo de

preenchimento), mantendo também as dimensões de 4mm de altura e 3 mm de diâmetro.

Todos os espécimes receberam acabamento com uma broca de diamante nº 3216 (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) em alta velocidade com spray de água, utilizando uma peça manual de alta rotação (Kavo do Brasil, Joenvile, SC, Brasil). Após foi realizado matrizes para confecção das coroas metálicas, para ocupar o 1mm restantes da porção coronal. Essa matriz em resina acrílica tipo Duralay (Reliance, São Paulo, SP, Brasil). Uma concavidade central foi realizada na face palatina dos padrões, para estabilizar a ponta de metal durante a carga cíclica e posterior resistência a fratura. As coroas fabricadas através da técnica de cera perdida, as mesmas em níquel-cromo (VIPI, Pirassununga, SP, Brasil) (Figura 5).



Figura 5. Coroa metálica

As raízes foram incluídas em resina acrílica autopolimerizável (Campo Limpo Paulista, São Paulo, Brasil), nos grupos com comprimento total de 15mm (13mm de remanescente radicular e 2mm de altura de férula) foi deixado 4mm da raiz não-submersos (2mm pertencendo a férula), enquanto no grupo com comprimento total de 13mm (sem a presença de férula), foi deixado 2mm da porção cervical da raiz não-submersos, o conjunto permaneceu imóvel durante 72 h, para assegurar a fixação da resina, e as amostras armazenadas em água destilada.

Envelhecimento das amostras - carga cíclica

Para a realização do envelhecimento, foi desenvolvido um dispositivo em aço inox para o devido posicionamento das amostras e para padronizar a inclinação de 45°, assim a carga ocorreu exatamente no cingulo das coroas (ZOGHEIB *et al.*, 2008) (Figura 6).



Figura 6. Dispositivo confeccionado em aço inox

Todos os espécimes foram expostos a 1.000.000 ciclos mecânicos em uma máquina de ciclagem pneumática (Biopid, Biocycle, São Carlos, São Paulo, Brasil). A padronização de uma frequência de 2Hz, com uma força de 50N, imersos em água destilada a temperatura de 37°C (PEREIRA *et al.*, 2014; FACENDA *et al.*, 2019; PINTO *et al.*, 2019) (Figura 7).



Figura 7. Máquina de ciclagem pneumática Biopid

A falha ou sobrevivência das amostras após o carregamento de fadiga foi registrado e também se ocorreu algum tipo de falha.

Teste de resistência à fratura

Em seguida, os espécimes foram submetidos ao teste de Resistência à Fratura em uma máquina de ensaios universal (Instron 23-10, série 2310P-0008, São José dos Pinhais, PR, Brasil). A posição das amostras foi padronizada com o auxílio de um dispositivo na base do aparelho, e a carga aplicada a um ângulo de 135° em relação ao eixo do comprimento das raízes (CECCHIN; FARINA;

GUERREIRO; CARLINI-JUNIOR, 2010; CARLINI-JUNIOR *et al.*, 2013). A carga oblíqua à compressão foi aplicada na região preparada no centro da coroa metálica, 3mm a partir da borda do incisivo, utilizando um dispositivo de forma cilíndrica com uma ponta redonda (2,7 mm de diâmetro). A força aplicada à uma velocidade de 1 mm / min até a fratura ocorrer. A carga de ruptura máxima obtida em Newton (N) (Figura 8).

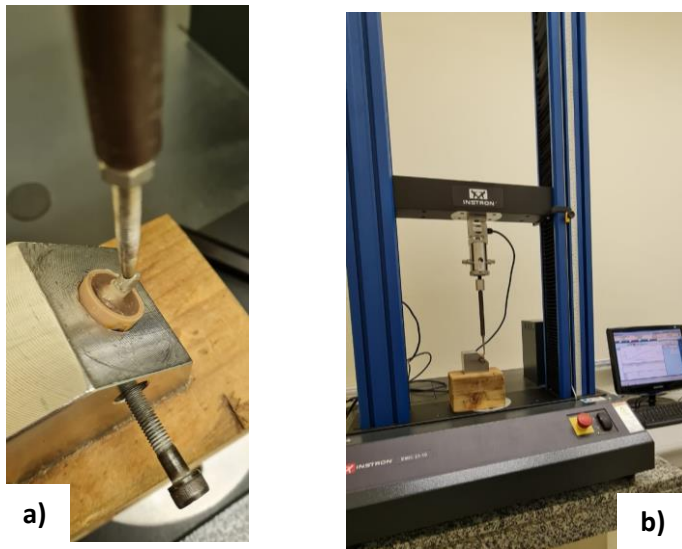


Figura 8. Teste de resistência à fratura em máquina de ensaios universal Instron. a) posicionamento da amostra no dispositivo e posicionamento do pistão no centro da coroa; b) Máquina utilizada no teste.

Os dados de resistência à fratura obtidos foram analisados inicialmente por testes para detecção de distribuição normal (Shapiro-Wilk). Posteriormente foi empregada análise paramétrica de variância fatorial ANOVA, dois-fatores, em nível de significância de 5% de probabilidade. Após foi realizado o teste de Tukey para comparações múltiplas. O software estatístico utilizado foi o Minitab.

Análise do padrão de fratura

Os fragmentos de cada raiz foram removidos da resina acrílica após fratura e observada sob uma lupa estereoscópica a 20 vezes de ampliação para análise do padrão de fratura. As fraturas então foram classificadas em dois tipos, de acordo com a localização da seguinte forma: reparável (fratura horizontal ocorrida acima do padrão ósseo simulado) e em irreparável (fratura horizontal ou vertical ocorrida abaixo do padrão ósseo simulado) (BARCELLOS *et al.*, 2013) (Figura 9). Os dados foram tabulados e foram analisados pelo teste de Qui-Quadrado, utilizando o mesmo software que foi utilizado no teste de resistência à fratura.

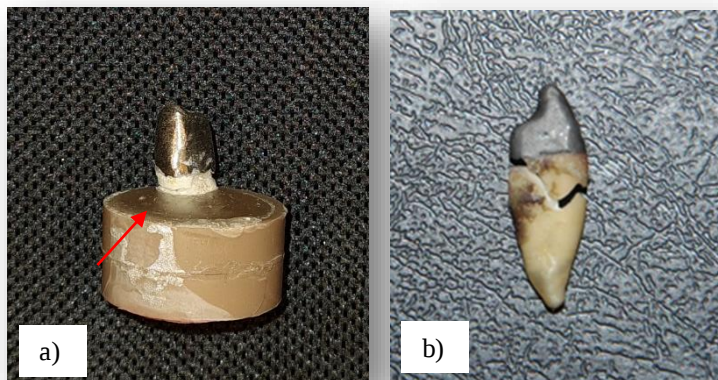


Figura 9. Análise do padrão de falha. a) Exemplo de fratura reparável; b) Exemplo de fratura irreparável.

5. RESULTADOS

As médias e seus respectivos desvios-padrão estão dispostos na Tabela 2. Raízes com 2mm de espessura, restauradas com PFU apresentaram maior resistência à fratura quando comparadas com raízes de 2mm restauradas com demais retentores ($P<0,05$); a diferença também foi encontrada nas espessuras de 1mm e 0,5mm, porém, apresentaram médias superiores os grupos restaurados com PMR e PFS, em comparação ao grupo com PFU ($P<0,05$); Os grupos restaurados com PMR apresentaram melhores médias na espessura de 2mm e 1mm, sendo diferente estatisticamente das médias em 0,5mm ($P<0,05$); Nos grupos restaurados com PFU, a maior média de resistência foi encontrada na espessura de 2mm, sendo diferente estatisticamente que nas demais espessuras dentinárias ($P<0,05$); O único retentor que não apresentou diferença estatística, foi o PFS, sendo semelhante em ambas as espessuras dentinárias ($P>0,05$).

Tabela 2. A resistência à fratura média em Newtons (N) e desvio padrão (SD) para cada um dos nove grupos experimentais

Espessura dentinária	PMR	PFU	PFS
2 mm	597,25 (106,67) ^{Ba}	760,48 (188,51) ^{Aa}	578,76 (194,94) ^{Ba}
1 mm	559,93 (72,81) ^{Aa}	407,42 (92,05) ^{Bb}	574,79 (114,89) ^{Aa}
0,5 mm	473,52 (54,95) ^{Ab}	388,01 (70,48) ^{Bb}	519,80 (177,61) ^{Aa}

PMR, pinos de fibra modelados; PFU, pinos usinados em CAD/CAM; PFS, pinos de fibra pré-fabricados utilizando o sistema de luva. Letras **maiúsculas** comparação entre **linhas**, e letras **minúsculas** comparação entre **colunas**. Médias seguidas de letras diferentes, são estatisticamente diferentes ($\alpha = 5\%$).

As médias e seus devidos desvios-padrões de cada fator estudado seguem abaixo na Tabela 3.

Tabela 3. A resistência à fratura média (N) e desvio padrão (SD) para cada um dos fatores e para a interação dos fatores.

FATOR 1: TIPO DE RETENTOR			
PMR	PFU	PFS	p
543,57 a	518,64 a	557,78 a	0,530
FATOR 2: ESPESSURA DENTINÁRIA			
2 mm	1 mm	0,5 mm	p
645,5 a	514,05 b	460,44 b	0,010

PMR, pinos de fibra modelados; PFU, pinos usinados em CAD/CAM; PFS, pinos de fibra pré-fabricados

*Médias seguidas de letras iguais na mesma linha são estatisticamente semelhantes ($p \geq 0,05$)

Para fator espessura e a interação dos fatores foi encontrada diferença estatística ($P < 0,01$). Avaliando as novas alternativas de retentores, que neste estudo foram o PFU e o PFS, no geral apresentam

comportamento semelhantes ao PMR. Quando analisado PFU apenas o fator espessura (tipo de preparo), com um remanescente de 2mm apresentou maior média, sendo estatisticamente diferente dos demais. Quando comparamos as espessuras dentinárias, os PFU reduziu sua resistência quando dentina apresentou 1mm e 0,5mm ($p<0.05$). PFM reduziu a resistência apenas para raízes fragilizadas de 0,5mm ($p<0.05$). Para os PFS não houve diferença na resistência, mesmo para raízes fragilizadas ($p>0.05$).

Quando comparamos os pinos entre si, na mesma espessura dentinária, podemos verificar que PFU apresentou maiores valores para uma dentina de 2mm, porém sua resistência reduziu quando comparado aos demais pinos em 1mm e 0,5mm quando comparados aos outros tipos de pino ($p<0.05$).

A tabela 4 mostra a análise dos padrões de falhas, que foram classificadas em reparáveis e não-reparáveis. Quando analisados pelo teste de Qui-quadrado, não foi observado diferença estatisticamente significativa entre os grupos experimentais ($P=0,343$)

Tabela 4. Distribuição de modos de falha em grupos experimentais (n = 10)

Grupos	Espessuras dentinária	Distribuição tipos de falhas	
		Reparáveis	Não-reparáveis
1	2mm	10	0
2	2mm	9	1
3	2mm	9	1
4	1mm	10	0
5	1mm	9	1
6	1mm	8	2
7	0,5mm	10	0
8	0,5mm	8	2
9	0,5mm	8	2

Grupos 1, 2 e 3: retentor PMR; Grupos 4, 5 e 6: retentor PFU; Grupos 7, 8 e 9: Retentor PFS

6. DISCUSSÃO

A literatura odontológica discute amplamente as ocorrências de falhas biomecânicas em dentes tratados endodonticamente (REEH *et al.*, 1989; FERNANDES *et al.*, 2001; BARCELLOS *et al.*, 2013), o uso de retentores para a confecção da porção coronária, auxiliam na estabilidade do conjunto (IACULLI *et al.*, 2021), em casos de perda estrutural severa, pinos intracanaís servem apenas como meio de retenção para um núcleo restaurador, que irá restabelecer a perda de tecidos dentários, permitindo também a dissipação de cargas oclusais (BRU *et al.*, 2013; IBRAHIM *et al.*, 2016).

Após as amostras serem submetidas à ciclagem cíclica e posteriormente ao teste de fratura, os resultados deste estudo apresentaram semelhança nos valores de resistência à fratura entre os três tipos de retentores testados, confirmando a hipótese 1.

Portanto, onde a raiz apresentava 2mm, os retentores PFS foram semelhantes aos PMR, já os PFU apresentaram maiores valores que os dois outros grupos. LIU *et al.* (2010) foram uns dos primeiros autores a descrever os retentores usinados. Porém a técnica, os materiais e os equipamentos vem evoluindo, estudos tem demonstrado

(GARCIA *et al.*, 2018; PANG *et al.*, 2019) que a resistência a fratura e adesiva desses retentores, são semelhantes aos retentores de fibra de vidro pré-fabricados. No estudo de DANTAS *et al.* (2020) os retentores obtidos através do CAD/CAM apresentaram resistência a fratura semelhante aos retentores pré-fabricados. Esses achados vão de encontro ao estudo de (GEHRCKE *et al.*, 2017), que também observaram cargas de fratura semelhantes entre os retentores de fibra. Em nosso estudo, maiores valores de resistência puderam ser observados para PFU em raízes com 2mm. O que explica esses achados são as propriedades físicas/mecânicas deste material, como por exemplo o módulo de elasticidade que é de 25GPa e a resistência à flexão que é de 1110Mpa, que são próximos ao da dentina radicular (MAZZOCCATO, 2006; MEIRA *et al.*, 2009). Além disso, por ser um boco único, pode ter o melhor abraçamento da estrutura radicular com maior espessura, se mantendo mais estável. Entretanto, quando raízes de 1mm e de 0,5mm foram utilizadas para este grupo de pinos, os valores de resistência reduziram significativamente em relação ao grupo dos PFM, supõem-se, assim, que o pino pré-fabricado tenha capacidade de absorver o impacto e distribuir homogeneamente a tensão para a dentina em virtude de uma maior flexibilidade do material (DANTAS *et al.*, 2020) . Isso pode ter ocorrido porque diferentemente do PFS e PMR que possuem sua parte coronária construída em resina composta, os PFU possuem sua porção coronária usinada juntamente com a porção radicular, sendo um corpo único.

Isso pode gerar uma alavanca maior sobre a raiz e gerar a fratura radicular com menor força (RUSCHEL *et al.*, 2018). Uma desvantagem destes retentores, é a complexidade do processo de produção, que exige no mínimo duas consultas clínicas (CHEN *et al.*, 2014).

Os retentores PFS se mostraram semelhantes aos PFM, que vai de encontro ao relato do fabricante, que informa que o retentor promove boa adaptação ao conduto, tanto aos canais estreitos quanto aos canais amplos, apresenta resistência flexural de 1200Mpa, semelhante ao pino de fibra de vidro, que no estudo de MAZZOCCATO (2006) verificou que é de 1153MPa, e módulo de elasticidade de 45GPa, que é próximo ao da dentina radicular, que é 18GPa MEIRA *et al.* (2009) e apresenta alta retentividade (ANGELUS, 2021). Um fator que vale salientar, é que este retentor, apresentou comportamento semelhante em todos os preparos, independente da espessura dentinária, presença ou ausência da férula, mesmo nos grupos com 0,5mm de espessura, o que pode explicar esse fator possibilita um embricamento mecânico do sistema ao canal, aumentando a retentividade do conjunto, minimizando riscos de deslocamento do sistema, promove a adaptação ao conduto no diâmetro e conicidade, abertura lateral da luva permite escoamento do excesso de cimento do interior do conduto para região cervical (ANGELUS, 2021). Os pinos não apresentaram diferença entre si, isso deve-se ao componente principal de ambos, que é a fibra de vidro, que

quando exercida uma carga sobre estes retentores, os mesmos, apresentam tensão menor em relação aos retentores metálicos (LANZA *et al.*, 2005), além disso, os pinos de composição de fibra de vidro são compatíveis com resina BIS-GMA, que está presente nos cimentos usados para fixá-los no canal radicular (KALKAN *et al.*, 2006).

No presente estudo, o fator que mostrou diferenças significativas, foi a espessura dentinária. PFU reduziram a resistência para raízes de 1mm e 0,5mm, já os pinos PMR reduziram os valores apenas para raízes com 0,5mm, o que aceita parcialmente a segunda hipótese do estudo. A maior resistência em amostras com maior espessura dentinária também foi observada em outros estudos (ZOGHEIB *et al.*, 2008), (MACEDO *et al.*, 2010; BARCELLOS *et al.*, 2013). A espessura mínima da dentina radicular é incerta, os valores de 1mm - 1,75mm é normalmente proposto (LLOYD *et al.*, 1993). Neste estudo, as espessuras de 1mm e 0,5mm, mostraram dados de resistência inferior, quando comparados com os grupos de 2mm, isso pode ser explicado, pelo fator de que a resistência à fratura é diretamente proporcional à quantidade de estrutura dental remanescente (MAROLI *et al.*, 2017; CORREA *et al.*, 2018), em seu estudo também observaram a importância da espessura dentinária para a manutenção da resistência do conjunto. Esse achado sustenta ainda mais a afirmação que o preparo é tão importante quanto ao retentor, assim como o estudo de BONFANTE *et al.* (2007) relatou.

O remanescente radicular, pode ser um fator importante, assim como o remanescente coronal também parece ser de grande relevância, como foi relatado nos estudos de PANG *et al.* (2019) e FONTANA *et al.* (2019), que observaram que a presença da férula durante o preparo para o retentor é de extrema importância para a resistência do conjunto e também para evitar fraturas catastróficas. O aumento da resistência desta região, é explicado pela maior preservação da estrutura dental, com isso, diminuindo o efeito de alavanca do retentor sobre as paredes do canal radicular (SORENSEN *et al.*, 1990) (CARLINI-JUNIOR *et al.*, 2013), e assim, uma melhor distribuição de tensões ao longo da raiz (BACCHI *et al.*, 2019). Mas um fator importante que pudemos observar que o único grupo onde inexistia a presença de férula e conseguiu manter os valores de resistência à fratura foi o PFS. Então baseado nos achados deste estudo, os PMR são uma ótima indicação para reestabelecer a porção coronária mesmo com certo grau de fragilização dentinária, além disso, os retentores PFS são capazes de manter a resistência a fratura mesmo na ausência de férula e em raízes extremamente fragilizadas.

Outro fator avaliado no estudo foi o padrão de fratura das amostras. Na maioria dos grupos a presença de fraturas reparáveis foi observada, que ocorreram acima do nível ósseo simulado, e pela análise estatística não foi encontrado diferença estatística entre os grupos, indo de encontro aos achados de (BARCELLOS *et al.*, 2013) que em todos os grupos que utilizaram retentores de fibra de vidro o

padrão de falha foi categorizado como reparável. Esse achado é de extrema importância, pois mesmo raízes fragilizadas os pinos de fibra se comportam de maneira aceitável gerando poucas fraturas irreparáveis. Clinicamente isso é importante pois quando possuímos raízes fragilizadas, ainda assim podemos indicar um pino de fibra de vidro. Caso haja fratura, são passíveis de reparo.

É importante afirmar que os achados deste estudo devem ser interpretados cuidadosamente, considerando os limites naturais de um teste laboratorial, que não necessariamente reproduz todos os modos de falha encontrados clinicamente. Pode inclusive sugerir elementos finitos.

7. CONCLUSÕES

Dentro das limitações do estudo, os autores concluíram que os retentores pré-fabricados Splendor – SAP, parecem ser uma boa alternativa aos PMR por apresentarem similaridade nos valores de resistência à fratura, além de manterem os valores de resistência para espessuras de 0,5mm e raízes que não apresentam férula.

REFERÊNCIAS

ANGELUS. **Splendor SAP**. 2021. Disponível em: <https://angelus.ind.br/produto/splendor-sap/>. Acesso em: 2021/04/06.

BACCHI, A.; CALDAS, R. A.; SCHMIDT, D.; DETONI, M. *et al.* Fracture Strength and Stress Distribution in Premolars Restored with Cast Post-and-Cores or Glass-Fiber Posts Considering the Influence of Ferule. **Biomed Res Int**, 2019, p. 2196519, 2019.

BARCELLOS, R. R.; CORREIA, D. P.; FARINA, A. P.; MESQUITA, M. F. *et al.* Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with intra-radicular post: the effects of post system and dentine thickness. **J Biomech**, 46, n. 15, p. 2572-2577, Oct 18 2013.

BILGIN, M. S.; ERDEM, A.; DILBER, E.; ERSOY, I. Comparison of fracture resistance between cast, CAD/CAM milling, and direct metal laser sintering metal post systems. **J Prosthodont Res**, 60, n. 1, p. 23-28, Jan 2016.

BONFANTE, G.; KAIZER, O. B.; PEGORARO, L. F.; DO VALLE, A. L. Fracture strength of teeth with flared root canals restored with glass fibre posts. **Int Dent J**, 57, n. 3, p. 153-160, Jun 2007.

BRU, E.; FORNER, L.; LLENA, C.; ALMENAR, A. Fibre post behaviour prediction factors. A review of the literature. **J Clin Exp Dent**, 5, n. 3, p. e150-153, Jul 1 2013.

CALDAS, R. A.; BACCHI, A.; BARAO, V. A. R.; VERSLUIS, A. Should adhesive debonding be simulated for intra-radicular post stress analyses? **Dent Mater**, 34, n. 9, p. 1331-1341, Sep 2018.

CARLINI-JUNIOR, B.; CECCHIN, D.; FARINA, A. P.; PEREIRA, G. D. *et al.* Influence of remaining coronal structure and of the marginal design on the fracture strength of roots restored with cast post and core. **Acta Odontol Scand**, 71, n. 1, p. 278-282, Jan 2013.

CECCHIN, D.; ALMEIDA, J. F.; GOMES, B. P.; ZAIA, A. A. *et al.* Deproteinization technique stabilizes the adhesion of the fiberglass post relined with resin composite to root canal. **J Biomed Mater Res B Appl Biomater**, 100, n. 2, p. 577-583, Feb 2012.

CECCHIN, D.; FARINA, A. P.; GUERREIRO, C. A.; CARLINI-JUNIOR, B. Fracture resistance of roots prosthetically restored with intra-radicular posts of

different lengths. **J Oral Rehabil**, 37, n. 2, p. 116-122, Feb 2010.

CHEN, Z.; LI, Y.; DENG, X.; WANG, X. A novel computer-aided method to fabricate a custom one-piece glass fiber dowel-and-core based on digitized impression and crown preparation data. **J Prosthodont**, 23, n. 4, p. 276-283, Jun 2014.

CORREA, G.; BRONDANI, L. P.; WANDSCHER, V. F.; PEREIRA, G. K. R. *et al.* Influence of remaining coronal thickness and height on biomechanical behavior of endodontically treated teeth: survival rates, load to fracture and finite element analysis. **J Appl Oral Sci**, 26, p. e20170313, 2018.

DA COSTA, R. G.; FREIRE, A.; CAREGNATTO DE MORAIS, E. C.; MACHADO DE SOUZA, E. *et al.* Effect of CAD/CAM glass fiber post-core on cement micromorphology and fracture resistance of endodontically treated roots. **Am J Dent**, 30, n. 1, p. 3-8, Feb 2017.

DALLARI, A.; ROVATTI, L.; DALLARI, B.; MASON, P. N. *et al.* Translucent quartz-fiber post luted in vivo with self-curing composite cement: case report and microscopic examination at a two-year clinical follow-up. **J Adhes Dent**, 8, n. 3, p. 189-195, Jun 2006.

DANTAS, R. A.; DELGADO, L. A.; ROLIM, A. K. A.; MARTINS, J. N. *et al.* Comparação da resistência de pino intrarradicular de fibra de vidro com pino experimental confeccionado pela tecnologia CAD/CAM. **Research, Society and Development**, 9, n. 7, 2020.

DE FRANCA, D. G.; MORAIS, M. H.; DAS NEVES, F. D.; CARREIRO, A. F. *et al.* Precision Fit of Screw-Retained Implant-Supported Fixed Dental Prostheses Fabricated by CAD/CAM, Copy-Milling, and Conventional Methods. **Int J Oral Maxillofac Implants**, 32, n. 3, p. 507-513, May/June 2017.

DIMITROULI, M.; GEURTSSEN, W.; LUHRS, A. K. Comparison of the push-out strength of two fiber post systems dependent on different types of resin cements. **Clin Oral Investig**, 16, n. 3, p. 899-908, Jun 2012.

EID, R. Y.; KOKEN, S.; BABA, N. Z.; OUNSI, H. *et al.* Effect of Fabrication Technique and Thermal Cycling on the Bond Strength of CAD/CAM Milled Custom Fit Anatomical Post and Cores: An In Vitro Study. **J Prosthodont**, 28, n. 8, p. 898-905, Oct 2019.

FACENDA, J. C.; BORBA, M.; BENETTI, P.; DELLA BONA, A. *et al.* Effect of supporting substrate on the failure behavior of a polymer-infiltrated ceramic network material. **J Prosthet Dent**, 121, n. 6, p. 929-934, Jun 2019.

FARIA-E-SILVA, A. L.; PEDROSA-FILHO CDE, F.; MENEZES MDE, S.; SILVEIRA, D. M. *et al.* Effect of relining on fiber post retention to root canal. **J Appl Oral Sci**, 17, n. 6, p. 600-604, Nov-Dec 2009.

FARINA, A. P.; CHIELA, H.; CARLINI-JUNIOR, B.; MESQUITA, M. F. *et al.* Influence of Cement Type and Relining Procedure on Push-Out Bond Strength of Fiber Posts after Cyclic Loading. **J Prosthodont**, 25, n. 1, p. 54-60, Jan 2016.

FARINA, A. P.; WEBER, A. L.; SEVERO BDE, P.; SOUZA, M. A. *et al.* Effect of length post and remaining root tissue on fracture resistance of fibre posts relined with resin composite. **J Oral Rehabil**, 42, n. 3, p. 202-208, Mar 2015.

FERNANDES, A. S.; DESSAI, G. S. Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: a review. **Int J Prosthodont**, 14, n. 4, p. 355-363, Jul-Aug 2001.

FONTANA, P. E.; BOHRER, T. C.; WANDSCHER, V. F.; VALANDRO, L. F. *et al.* Effect of Ferrule Thickness on Fracture Resistance of Teeth Restored With a Glass Fiber Post or Cast Post. **Oper Dent**, 44, n. 6, p. E299-E308, Nov/Dec 2019.

GALHANO, G. A.; VALANDRO, L. F.; DE MELO, R. M.; SCOTTI, R. *et al.* Evaluation of the flexural strength

of carbon fiber-, quartz fiber-, and glass fiber-based posts. **J Endod**, 31, n. 3, p. 209-211, Mar 2005.

GARCIA, P. P.; DA COSTA, R. G.; GARCIA, A. V.; GONZAGA, C. C. *et al.* Effect of surface treatments on the bond strength of CAD/CAM fiberglass posts. **J Clin Exp Dent**, 10, n. 6, p. e591-e597, Jun 2018.

GEHRCKE, V.; DE OLIVIERA, M.; AARESTRUP, F.; DO PRADO, M. *et al.* Fracture Strength of Flared Root Canals Restored with Different Post Systems. **Eur Endod J**, 2, n. 1, p. 1-5, 2017.

GRANDINI, S.; GORACCI, C.; MONTICELLI, F.; BORRACCHINI, A. *et al.* SEM evaluation of the cement layer thickness after luting two different posts. **J Adhes Dent**, 7, n. 3, p. 235-240, Autumn 2005.

GRANDINI, S.; SAPIO, S.; SIMONETTI, M. Use of anatomic post and core for reconstructing an endodontically treated tooth: a case report. **J Adhes Dent**, 5, n. 3, p. 243-247, Fall 2003.

IACULLI, F.; RENGO, C.; LODATO, V.; PATINI, R. *et al.* Fracture resistance of endodontically-treated maxillary premolars restored with different type of posts and direct composite reconstructions: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. **Dent Mater**, Jun 17 2021.

IBRAHIM, A. M.; RICHARDS, L. C.; BEREKALLY, T. L. Effect of remaining tooth structure on the fracture resistance of endodontically-treated maxillary premolars: An in vitro study. **J Prosthet Dent**, 115, n. 3, p. 290-295, Mar 2016.

KALKAN, M.; USUMEZ, A.; OZTURK, A. N.; BELLİ, S. *et al.* Bond strength between root dentin and three glass-fiber post systems. **J Prosthet Dent**, 96, n. 1, p. 41-46, Jul 2006.

LANZA, A.; AVERSA, R.; RENGO, S.; APICELLA, D. *et al.* 3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor. **Dent Mater**, 21, n. 8, p. 709-715, Aug 2005.

LIU, P.; DENG, X. L.; WANG, X. Z. Use of a CAD/CAM-fabricated glass fiber post and core to restore fractured anterior teeth: A clinical report. **J Prosthet Dent**, 103, n. 6, p. 330-333, Jun 2010.

LLOYD, P. M.; PALIK, J. F. The philosophies of dowel diameter preparation: a literature review. **J Prosthet Dent**, 69, n. 1, p. 32-36, Jan 1993.

MACEDO, V. C.; FARIA E SILVA, A. L.; MARTINS, L. R. Effect of cement type, relining procedure, and length of cementation on pull-out bond strength of fiber posts. **J Endod**, 36, n. 9, p. 1543-1546, Sep 2010.

MAROLI, A.; HOELCHER, K. A. L.; REGINATO, V. F.; SPAZZIN, A. O. *et al.* Biomechanical behavior of teeth without remaining coronal structure restored with different post designs and materials. **Mater Sci Eng C Mater Biol Appl**, 76, p. 839-844, Jul 1 2017.

MAZZOCCATO, D. T. H., R.; Pires, L, A. G.; Mota, E.; Moraes, L. F.; Mazzocato, S. T. Propriedades flexurais de pinos diretos. **Revista Dental Press de Estética**, 3, p. 21 - 36, jul - set 2006 2006.

MEIRA, J. B.; ESPOSITO, C. O.; QUITERO, M. F.; POIATE, I. A. *et al.* Elastic modulus of posts and the risk of root fracture. **Dent Traumatol**, 25, n. 4, p. 394-398, Aug 2009.

PANG, J.; FENG, C.; ZHU, X.; LIU, B. *et al.* Fracture behaviors of maxillary central incisors with flared root canals restored with CAD/CAM integrated glass fiber post-and-core. **Dent Mater J**, 38, n. 1, p. 114-119, Feb 8 2019.

PANITIWAT, P.; SALIMEE, P. Effect of different composite core materials on fracture resistance of endodontically treated teeth restored with FRC posts. **J Appl Oral Sci**, 25, n. 2, p. 203-210, Mar-Apr 2017.

PEREIRA, J. R.; DO VALLE, A. L.; SHIRATORI, F. K.; GHIZONI, J. S. *et al.* The effect of post material on the

characteristic strength of fatigued endodontically treated teeth. **J Prosthet Dent**, 112, n. 5, p. 1225-1230, Nov 2014.

PINTO, C. L.; BHERING, C. L. B.; DE OLIVEIRA, G. R.; MAROLI, A. *et al.* The Influence of Post System Design and Material on the Biomechanical Behavior of Teeth with Little Remaining Coronal Structure. **J Prosthodont**, 28, n. 1, p. e350-e356, Jan 2019.

REEH, E. S.; MESSER, H. H.; DOUGLAS, W. H. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. **J Endod**, 15, n. 11, p. 512-516, Nov 1989.

REZAEI DASTJERDI, M.; AMIRIAN CHAIJAN, K.; TAVANAFAR, S. Fracture resistance of upper central incisors restored with different posts and cores. **Restor Dent Endod**, 40, n. 3, p. 229-235, Aug 2015.

RUSCHEL, G. H.; GOMES, E. A.; SILVA-SOUSA, Y. T.; PINELLI, R. G. P. *et al.* Mechanical properties and superficial characterization of a milled CAD-CAM glass fiber post. **J Mech Behav Biomed Mater**, 82, p. 187-192, Jun 2018.

SALAMEH, Z.; SORRENTINO, R.; PAPACCHINI, F.; OUNSI, H. F. *et al.* Fracture resistance and failure patterns of endodontically treated mandibular molars restored using resin composite with or without translucent glass fiber posts. **J Endod**, 32, n. 8, p. 752-755, Aug 2006.

SARY, S. B.; SAMAH, M. S.; WALID, A. A. Effect of restoration technique on resistance to fracture of endodontically treated anterior teeth with flared root canals. **J Biomed Res**, 33, n. 2, p. 131-138, Apr 22 2019.

SORENSEN, J. A.; ENGELMAN, M. J. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. **J Prosthet Dent**, 63, n. 5, p. 529-536, May 1990.

SOUNDAR, S. I.; SUNEETHA, T. J.; ANGELO, M. C.; KOVOOR, L. C. Analysis of fracture resistance of endodontically treated teeth restored with different post and core system of variable diameters: an in vitro study. **J Indian Prosthodont Soc**, 14, n. 2, p. 144-150, Jun 2014.

TSINTSADZE, N.; JULOSKI, J.; CARRABBA, M.; TRICARICO, M. *et al.* Performance of CAD/CAM fabricated fiber posts in oval-shaped root canals: An in vitro study. **Am J Dent**, 30, n. 5, p. 248-254, Oct 2017.

ZHANG, Y.; HAN, J. M.; LIU, L.; DENG, X. L. [Study of bond strength of one-piece glass fiber posts-and-cores with flared root canals in vitro]. **Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban**, 51, n. 2, p. 327-334, Apr 18 2019.

ZOGHEIB, L. V.; PEREIRA, J. R.; DO VALLE, A. L.; DE OLIVEIRA, J. A. *et al.* Fracture resistance of weakened roots restored with composite resin and glass fiber post. **Braz Dent J**, 19, n. 4, p. 329-333, 2008.

APÊNDICES

**EVALUATION OF FRACTURE
RESISTANCE OF TEETH RESTORED
WITH NEW INTRARADICULAR
RETAINER ALTERNATIVES¹**

Ramiro Rocha Barcellos^a, Ana Paula Farina^a, Débora Pereira Diniz
Correia Barcellos^a, Douglas Cecchin^{a*}

^aDepartment of Restorative Dentistry, College of Dentistry, University of Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brazil.

*Corresponding author:

E-mail address: douglas@upf.br

ABSTRACT

Coronary destruction is a clinical reality, caused by caries, fractures or non-conservative endodontic access, rehabilitating these teeth is a major limitation. Objective: To evaluate the fracture resistance and

fracture pattern of roots restored with different types of intraradicular retainers and dentin remnants. Methods: 90 single-rooted bovine teeth with standardized dimensions were selected. Randomly divided into 9 groups (n=10) according to the retainer and remaining dentin: post modeled with composite resin (PMR); CAD/CAM machined fiberglass pin (PFU) and Splendor – SAP fiberglass pin (PFS); dentin thicknesses 0.5mm, 1mm and 2mm. Ferrule made in groups with thicknesses of 1mm and 2mm. Samples were embedded in acrylic resin, received metallic crowns and submitted to mechanical cycling 1,000,000 cycles, frequency 2Hz, load 50N. After being submitted to the fracture resistance test in a universal testing machine. The samples were classified according to the mode of fracture, repairable or irreparable. The fracture resistance data were statistically analyzed using the Anova test followed by the Tukey test, 5% significance. Results: The retainers did not show any statistical difference between them ($P>0.05$); There was a difference in dentinal thickness, groups with a thickness of 2mm in relation to the others ($P<0.01$). The interaction was evaluated, there was a statistical difference ($P<0.01$), 2mm dentin thickness groups and 1mm thickness group restored with PFS had higher fracture load. Prevalence of repairable failures was observed in all groups. Conclusion: PFU and PFS retainers seem to be a good alternative to PMR. Dentin root thickness is important for adequate tooth reconstruction.

Keywords: Fracture resistance, Glass fiber post, Ferrule, CAD/CAM, Splendor - SAP

1. INTRODUCTION

Endodontically treated teeth may show loss of structure caused by decay, fracture or endodontic access, thus reducing the amount of remaining coronary structure. Often, these teeth have root dentin with thin walls, making the restorative procedure difficult [1]. The use of intraradicular retainers to support future restorations has been improved in order to try to find more stable and resistant retainers, with mechanical properties similar to root dentin [2]. Cast metal cores were and are still widely used. They have a high modulus of elasticity, much higher than that of root dentin, and for this reason, when dentin fractures occur, most of them present patterns of failure that are irreparable [3-5].

Fiberglass posts have shown satisfactory results, but have some limitations [3, 6]. In large channels, where there is no adequate post adaptation, the cementation line becomes too thick, which can lead to increased cement polymerization contraction and formation of gaps that predispose to joint failure [7]. Therefore, it was proposed to reline the post with composite resin, creating an individualized retainer with better adaptation to the root canal and, consequently, reduced cementation line [7-9]

Another retainer option, which features total post individualization, is the fiberglass post core, which is made by molding the conduit, and it is made in CAD/CAM. This confection takes place from a block, which contains in its composition 80% of glass fibers and 20% of epoxy resin, following the line of the modeled fiberglass post, but in a single body, both retainer and preparation for receive the crown, of the same material. It does not have porosities, and is made using milling machines, which increases the adaptation and consequently reduces the cementation line [10]. A recent study showed that the CAD/CAM fabrication technique improves core retention to the root canal, and increases fracture resistance [11].

In light of the above, the aim of this study was to evaluate the fracture resistance and fracture pattern of roots restored with different types of intraradicular retainers (fiberglass post modeled with composite resin (PMR), fiberglass post machined in CAD/CAM (PFU), and prefabricated Splendor fiberglass post – SAP (PFS)) and remaining root dentin (2mm thick, 1mm thick, and 0.5mm thick), Hypothesis 1: roots restored with PFU have similar fracture resistance compared to roots restored with PMR and PFS. Hypothesis 2: roots with greater dentinal thickness and with the presence of a ferrule, present greater resistance to fracture. Hypothesis 3: that the fracture pattern is similar in both types of retainers, most of them being repairable fractures.

2. Materials and methods

Single-rooted bovine teeth (n=90) were used for the study. For coronary reconstruction, 3 types of intraradicular retainers were used: PMR, PFU, and PFS. The roots received preparations and the final dimensions were as follows: 2mm of dentin thickness and presence of splint, 1mm of dentinal thickness and presence of splint, and 0.5mm of dentinal thickness without the presence of splint).

- **Selection and preparation of teeth:**

Ninety single-rooted bovine teeth were selected. These were extracted right after the animals were slaughtered, cleaned and then stored in a thermal container with ice. The teeth were kept frozen at -10°C until the moment of use, keeping the storage for a maximum of 45 days.

Root dimensions were selected and standardized, 6 to 6.5mm mesiodistal and 7 to 8mm buccolingually, which were measured with the aid of a digital caliper.

Using a digital caliper and an overhead projector pen, 60 teeth were marked 15mm above the root apex; and, in 30 teeth, the marking was 13mm above the root apex. At this point, the section was performed with the aid of a double-faced diamond disc (KGSorensen, Barueri, SP, Brazil), separating the coronal portion from the root portion. The remaining pulp tissue was removed using type K #40 endodontic files (Dentsplay-Maillefer, Bellaiguess, Switzerland), under abundant irrigation with saline solution.

The preparation of the conduit was performed with gates-glidden drill (Dentsplay-Maillefer, Bellaiguess, Switzerland) of gauge 2 and 3, at a depth of 12mm in samples with a total length of 15mm, maintaining an apical seal with cotsol in all samples (Coltene, Rio de Janeiro, RJ, Brazil). The standardization of the dentinal walls was made through wear with diamond burs, initially at high speed, ending at low speed under constant refrigeration. First, a depth wear was carried out over the total length of the opening, with a spherical diamond tip number 1014 (1.4mm in diameter) in the groups where the dentinal thickness was 2mm, in the groups where the dentinal thickness was 1mm, this preparation was carried out with a 1016 spherical diamond drill (1.8mm diameter), for samples with 0.5mm dentin thickness, wear was performed with the spherical diamond tip number 3017 HL (2.5mm diameter). At the end of the preparation, the remaining dentin walls were 2mm, 1mm and 0.5mm thick, respectively, controlled by a thickness meter. This verification was carried out for each mm of instrumentation during preparation. The groups with dentin thickness of 2mm and 1mm during preparation, a preparation was carried out to simulate the effect of a 1mm and 0.5 mm thick splint, respectively.

In the groups with a dentin thickness of 0.5mm, the ferrule effect was not made, thus simulating a totally weakened root. The length of the samples standardized in 15mm for the groups with 1 and 2 mm of root thickness, being 13mm of root length and 2mm of ferrule

height. In the groups with 0.5mm thick roots, the total length of the sample was 13mm, simulating the loss of the splint and tooth embrittlement.

- **Division of experimental groups**

After standardizing the dentin thickness of the root canals, the roots were randomly divided into 9 groups as follows:

Table 1. Division of experimental groups

Grupos	Espessura dentinária	Retentor	Presença de férula	N
1	2 mm	PMR	Sim	10
2	1 mm	PMR	Sim	10
3	0,5 mm	PMR	Não	10
4	2 mm	PFU	Sim	10
5	1 mm	PFU	Sim	10
6	0,5 mm	PFU	Não	10
7	2 mm	PFS	Sim	10
8	1 mm	PFS	Sim	10
9	0,5 mm	PFS	Não	10

PMR (Pin molded with composite resin); **PFU** (CAD/CAM Machined Fiberglass Pin); **PFS** (Prefabricated fiberglass pin Splendor – SAP)

- **Preparation of retainers**

In groups I, II and III, the surface cleaning of the Reforpost fiberglass post (Angelus, Londrina, PR, Brazil) was performed with phosphoric acid for 30 seconds [12] and after washing with water for 1 minute. Silane (Angelus, Londrina, PR, Brazil) was applied, followed by a bond application of the Adpter Scotchbond Multipurpose adhesive system (3M ESPE, St Paul, MN, USA) and light cured for 40 seconds each side, applying on two sides opposites. Then, natrosol gel (Natupharma, Passo Fundo, RS, Brazil) was applied to the root canal in order to lubricate it. The pin was wrapped with Filtek Z350 composite resin (3M ESPE, St Paul, MN, USA) and the assembly was taken into the channel. This set was removed and replaced twice, and photoactivated in position inside the canal for 3 seconds. Marking was performed on the buccal region of the pin and tooth for further identification and cementation in the correct place. Soon after, the relined post was removed from inside the root canal and the final polymerization was carried out for 40s on the buccal surface and 40s on the palatal surface. With the post ready, the canal was irrigated with 20ml of saline solution to remove the insulator. Soon after, the canal was dried with absorbent paper points, followed by cementation of the PMR as described later.

In groups IV, V and VI, a direct molding of the conduit with low shrinkage acrylic resin (GC, Alsip, Illinois, USA) and the aid of prefabricated Pinjet type acrylic pins was made (Angelus, Londrina, PR, Brazil) , thus obtaining a conical-shaped molding, with passive

retention. After molding the conduit, the preparation above this retainer was made in a standard way, keeping all the same height (4mm), modifying only the thickness, being adequate to the thickness of each root and so that the space for making the crown 1mm. Then, the impression of the impression was scanned with a laboratory scanner, and the design of the post in software (CAD/CAM) was carried out to subsequently carry out the machining of the Fiber Cad – Post and Core post (Angelus, Londrina, PR, Brazil) (Figure 1).

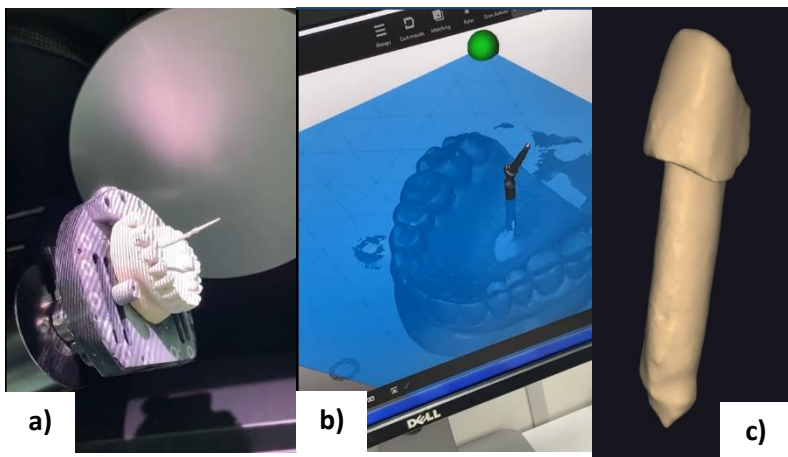


Figure 1. Process of making the machined retainer. a) Scanner; b) Design in the software; c) Project/Drawing completed

With the retainer ready, the surface was cleaned with phosphoric acid for 30 seconds [12] and after washing it with water for 1 minute. Silane (Angelus, Londrina, PR, Brazil) was applied,

followed by a bond application of the Adapter Scotchbond Multipurpose adhesive system (3M ESPE, St Paul, MN, USA) and light cured for 40 seconds each side, applying on two sides opposite ones, thus being ready for cementation.

In groups VII, VIII and IX where Splendor – Single Adjustable Post prefabricated fiberglass posts were used (Angelus, Londrina, PR, Brazil). First, we selected the adapter (sleeve) of the retainer that best fit the dimensions of the conduits, this glove is conical of thickness and length standardized by the manufacturer, it "fits" the conduit, and locks at the length where the taper of the root canal is smaller than the glove (Figure 2).



Figure 2. Fiberglass post Splendor – SAP

After selection, these pins received the same treatment that was performed in the previous groups (phosphoric acid, silane and bond). In this way, the retainer was ready for cementation, which occurred from the sleeve and then, inside, the post cementation, which has its dimensions standardized by the manufacturer.

- **Cementation of the root retainer**

First, the conduit was cleaned with 5ml of saline solution and then dried with paper cones. RelyX U200 dual resin cement (3M ESPE, St. Paul, MN, USA) was dispensed onto an impermeable pad of paper and manipulated for 10 seconds. With the aid of syringes from the Centrix system and Acudosse needle (DFL, Rio de Janeiro, RJ, Brazil) the cement was taken to the interior of the root canal and a thin layer of cement was applied to the surface of the retainers. The post was positioned inside the root canal, manually stabilizing for 20s and light curing for 5s, then excess cement was removed, and then light cured for 40s on each face (vestibular, lingual, mesial and distal). This technique and material were used for all groups, therefore, for the PMR, PFU and PFS retainers.

- **Making the crown**

To restore the coronal part in groups with PMR and PFS (groups I, II, III, VII, VIII and IX), the incremental technique was used, using composite resin Z250 (3M ESPE, St Paul, MN, USA)

around the pins to fill the cores. To standardize the size, a matrix was made with 4mm in height (in the groups with the presence of the splint, this dimension was 2mm above the splint) and 3mm in diameter (adjusting to the diameter of the root, trying to leave a space of 1mm for the production of the metallic crown) to carry out the application of the last layers of resin. In the groups with PFU (groups IV, VE VI), the coronary portion was made at the time of molding the conduit with low shrinkage acrylic resin (GC, Alsip, Illinois, USA), using the incremental technique for making the same, thus, maintaining a single body between the retainer and the coronary portion (filling core), also maintaining the dimensions of 4mm in height and 3mm in diameter.

All specimens were finished with a diamond drill No. 3216 (KG Sorensen, Barueri, SP, Brazil) at high speed with water spray, using a high-speed handpiece (Kavo do Brasil, Joenvile, SC, Brazil). Afterwards, matrices were made to make the metallic crowns, to occupy the remaining 1mm of the coronal portion. This matrix in Duralay type acrylic resin (Reliance, São Paulo, SP, Brazil). A central concavity was performed on the palatal face of the patterns to stabilize the metal tip during cyclic loading and subsequent fracture resistance. The crowns manufactured using the lost wax technique, the same in nickel-chromium (VIPI, Pirassununga, SP, Brazil) (Figure 3).



Figure 3. metallic crown

The roots were embedded in self-curing acrylic resin (Campo Limpo Paulista, São Paulo, Brazil), in the groups with a total length of 15mm (13mm of root remnant and 2mm of ferrule height) 4mm of the root was left unsubmerged (2mm belonging to splint), while in the group with a total length of 13mm (without the presence of splint), 2mm of the cervical portion of the root was left unsubmerged, the set remained immobile for 72 h, to ensure resin fixation, and the samples were stored in distilled water.

- **Aging of samples - cyclic loading**

To carry out the aging process, a stainless steel device was developed for the proper positioning of the samples and to standardize the 45° inclination, so the load occurred exactly at the crowns cingulate [13] (Figure 4).



Figure 4. Device made of stainless steel

All specimens were exposed to 1,000,000 mechanical cycles in a pneumatic cycling machine (Biopid, Biocycle, São Carlos, São Paulo, Brazil). The standardization of a frequency of 2Hz, with a force of 50N, immersed in water distills at a temperature of 37°C [14-16] (Figure 5).



Figure 5. Biopid pneumatic cycling machine

The failure or survival of the samples after fatigue loading was recorded and also whether any type of failure occurred.

- **Fracture resistance test**

Afterwards, the specimens were submitted to the Fracture Strength test in a universal testing machine (Instron 23-10, series 2310P-0008, São José dos Pinhais, PR, Brazil). The position of the samples was standardized with the aid of a device at the base of the device, and the load applied at an angle of 135° in relation to the axis of the length of the roots [17, 18]. The oblique compression load was applied to the prepared region in the center of the metallic crown, 3mm from the edge of the incisor, using a cylindrical-shaped device with a round tip (2.7 mm in diameter). The force applied at a speed of 1 mm/min until fracture occurs. The maximum breaking load obtained in Newton (N) (Figure 6).



Figure 6. Fracture resistance test on an Instron universal testing machine. a) positioning the sample in the device and

positioning the piston in the center of the crown; b) Machine used in the test.

The fracture strength data obtained were initially analyzed by tests to detect normal distribution (Shapiro-Wilk). Subsequently, a parametric analysis of factorial variance ANOVA, two-factors, at a significance level of 5% probability was used. Afterwards, the Tukey test for multiple comparisons was performed. The statistical software used was Minitab.

- **Fracture Pattern Analysis**

Fragments from each root were removed from the acrylic resin after fracture and observed under a stereoscopic magnifying glass at 20x magnification for analysis of the fracture pattern. Fractures were then classified into two types, according to location, as follows: repairable (horizontal fracture occurring above the simulated bone pattern) and irreparable (horizontal or vertical fracture occurring below the simulated bone pattern) [3] (Figure 7). Data were tabulated and analyzed by the Chi-Square test, using the same software that was used in the fracture resistance test.

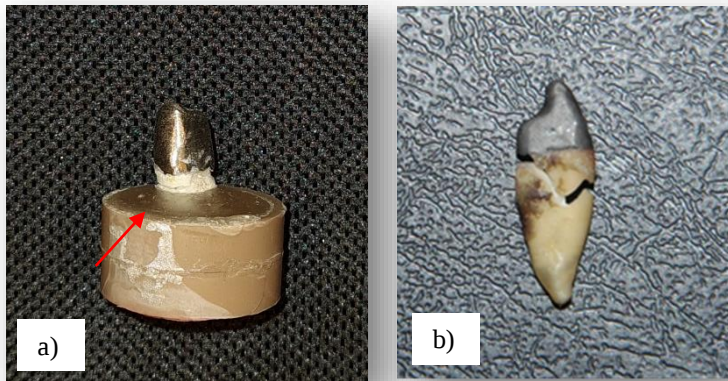


Figure 7. Failure pattern analysis. a) Example of repairable fracture; b) Example of an irreparable fracture.

3. RESULTS

The means and their respective standard deviations are shown in Table 2. 2mm-thick roots, restored with PFU, presented greater fracture resistance when compared with 2mm-thick roots restored with other retainers ($P<0.05$); the difference was also found in the thicknesses of 1mm and 0.5mm, however, the groups restored with PMR and PFS had higher means, compared to the group with PFU ($P<0.05$); The groups restored with PMR showed better mean thicknesses of 2mm and 1mm, being statistically different from the means of 0.5mm ($P<0.05$); In the groups restored with PFU, the highest mean strength was found in the thickness of 2mm, being statistically different than in the other dentin thicknesses ($P<0.05$); The

only retainer that did not show statistical difference was the PFS, which was similar in both dentin thicknesses ($P>0.05$).

Table 2. Mean fracture strength in Newtons (N) and standard deviation (SD) for each of the nine experimental groups

Dentin thickness	PMR	PFU	PFS
2 mm	597,25 (106,67) ^{Ba}	760,48 (188,51) ^{Aa}	578,76 (194,94) ^{Ba}
1 mm	559,93 (72,81) ^{Aa}	407,42 (92,05) ^{Bb}	574,79 (114,89) ^{Aa}
0,5 mm	473,52 (54,95) ^{Ab}	388,01 (70,48) ^{Bb}	519,80 (177,61) ^{Aa}

PMR, shaped fiber pins; PFU, CAD/CAM machined pins; PFS, prefabricated fiber pins using the sleeve system. Uppercase letters comparison between rows, and lowercase letters comparison between columns. Means followed by different letters are statistically different ($\alpha = 5\%$).

For the thickness factor and the interaction of the factors, a statistical difference was found ($P<0.01$). Assessing the new retainer alternatives, which in this study were the PFU and the PFS, in general present similar behavior to the PMR. When analyzing PFU, only the thickness factor (type of preparation), with a remnant of 2mm, had the highest mean, being statistically different from the others. When comparing dentin thicknesses, PFU reduced its strength when dentin presented 1mm and 0.5mm ($p<0.05$). PFM reduced strength only for 0.5mm embrittled roots ($p<0.05$). For PFS there was no difference in resistance, even for fragile roots ($p>0.05$).

When we compare the posts with each other, in the same dentin thickness, we can see that PFU had higher values for a 2mm

dentin, but its strength was reduced when compared to the other posts in 1mm and 0.5mm when compared to other types of post ($p < 0.05$).

The analysis of failure patterns, which were classified into repairable and non-repairable. When analyzed by the Chi-square test, no statistically significant difference was observed between the experimental groups ($P=0.343$).

Table 3. Distribution of failure modes in experimental groups (n = 10)

Groups	Dentin thickness	Distribution types of failures	
		Repairable	Non-repairable
1	2mm	10	0
2	2mm	9	1
3	2mm	9	1
4	1mm	10	0
5	1mm	9	1
6	1mm	8	2
7	0,5mm	10	0
8	0,5mm	8	2
9	0,5mm	8	2

Groups 1, 2 and 3: PMR retainer; Groups 4, 5 and 6: PFU retainer; Groups 7, 8 and 9: PFS Retainer

4. DISCUSSION

The dental literature widely discusses the occurrences of biomechanical failures in endodontically treated teeth [3, 19, 20], the use of retainers for the confection of the coronary portion, help in joint stability [21], in cases of severe structural loss, intracanal pins serve only as a means of retention for a restorative core, which will restore the loss of dental tissue, also allowing the dissipation of occlusal loads [22, 23].

After the samples were submitted to cyclic cycling and subsequently to the fracture test, the results of this study showed similarity in the values of fracture resistance between the three types of tested retainers, confirming hypothesis 1.

Therefore, where the root had 2mm, the PFS retainers were similar to the PMR, whereas the PFU had higher values than the two other groups. LIU et al. (2010) were one of the first authors to describe machined retainers. However, the technique, materials and equipment have been evolving, studies have shown [11, 24] that the fracture and adhesive strength of these retainers are similar to pre-fiberglass retainers. manufactured. In the study by Dantas, Delgado, Rolim, Martins, Ortega and Ramos [25] the retainers obtained through CAD/CAM showed fracture resistance similar to prefabricated retainers. These findings are in line with the study by [26], who also observed similar fracture loads among fiber retainers. In our study, higher strength values could be observed for PFU in 2mm roots. What explains these findings are the physical/mechanical properties of this material, such as the modulus of elasticity, which is 25GPa and the flexural strength, which is 1110Mpa, which are close to that of root dentin [27, 28]. In addition, as it is a single mouth, it can have the best root structure embrace with greater thickness, remaining more stable. However, when 1mm and 0.5mm roots were used for this group of pins, the resistance values significantly reduced compared to the PFM group, thus it is assumed that the prefabricated pin has the capacity to

absorb the impact and homogeneously distribute the tension to the dentin due to a greater flexibility of the material [25]. This may have occurred because, unlike PFS and PMR, which have their coronal part built in composite resin, PFU's have their coronary portion machined together with the root portion, being a single body. This can generate a greater lever on the root and generate the root fracture with less force [29]. A disadvantage of these retainers is the complexity of the production process, which requires at least two clinical consultations [30].

The PFS retainers proved to be similar to PFM, which is in line with the manufacturer's report, which states that the retainer promotes good adaptation to the conduit, both to narrow and wide channels, has flexural strength of 1200Mpa, similar to the fiber pin. glass, which in the study by Mazzocato [27] found that it is 1153MPa, and modulus of elasticity of 45GPa, which is close to that of root dentin, which is 18GPa Meira, Esposito, Quitero, Poiate, Pfeifer, Tanaka and Ballester [28] and has high retentivity [31]. A factor that is worth noting is that this retainer presented similar behavior in all preparations, regardless of dentin thickness, presence or absence of the ferrule, even in groups with 0.5mm thickness, which may explain this factor, which enables a mechanical embedding from the system to the channel, increasing the retentivity of the assembly, minimizing the risks of displacement of the system, promoting adaptation to the conduit in diameter and taper, lateral opening of the sleeve allows the

flow of excess cement from the interior of the conduit to the cervical region [31]. The pins did not differ from each other, this is due to the main component of both, which is the fiberglass, which when a load is exerted on these retainers, they present lower tension in relation to the metallic retainers [32], in addition, fiberglass composite posts are compatible with BIS-GMA resin, which is present in cements used to fix them in the root canal [33].

In the present study, the factor that showed significant differences was dentin thickness. PFU reduced the strength for 1mm and 0.5mm roots, while PMR posts reduced the values only for 0.5mm roots, which partially accepts the second hypothesis of the study. Greater resistance in samples with greater dentin thickness was also observed in other studies [3, 13, 34]. The minimum thickness of root dentin is uncertain, values of 1mm - 1.75mm are usually proposed [35]. In this study, the thicknesses of 1mm and 0.5mm showed lower strength data when compared to the 2mm groups, which can be explained by the factor that fracture resistance is directly proportional to the amount of remaining tooth structure [36, 37], in their study, also observed the importance of dentin thickness for maintaining the strength of the joint. This finding further supports the statement that the preparation is as important as the retainer, as well as the study by Bonfante, Kaizer, Pegoraro and do Valle [38] reported.

The root remnant may be an important factor, as well as the coronal remnant also seems to be of great relevance, as reported in the

studies by Pang, Feng, Zhu, Liu, Deng, Gao, Li and Ke [11] and Fontana, Bohrer, Wandscher, Valandro, Limberger and Kaizer [39], who observed that the presence of the splint during the preparation for the retainer is extremely important for the strength of the set and also to avoid catastrophic fractures. The increase in the resistance of this region is explained by the greater preservation of the tooth structure, thus decreasing the lever effect of the retainer on the walls of the root canal [18, 40], and thus, a better stress distribution along the root [41]. But an important factor that we could observe that the only group where the splint did not exist and managed to maintain the fracture resistance values was the PFS. So, based on the findings of this study, PMR are an excellent indication to reestablish the coronary portion even with a certain degree of dentinal embrittlement, in addition, PFS retainers are able to maintain fracture resistance even in the absence of a ferrule and in extremely fragile roots .

Another factor evaluated in the study was the fracture pattern of the samples. In most groups the presence of repairable fractures was observed, which occurred above the simulated bone level, and by statistical analysis no statistical difference was found between the groups, going against the findings of [3] that in all the groups that used fiberglass retainers the failure pattern was categorized as repairable. This finding is extremely important, as even fragile roots, fiber posts behave acceptably, generating few irreparable fractures. Clinically this

is important because when we have fragile roots, we can still indicate a fiberglass post. If there is a fracture, they can be repaired.

It is important to state that the findings of this study must be carefully interpreted, considering the natural limits of a laboratory test, which does not necessarily reproduce all the failure modes found clinically. It can even suggest finite elements.

5. CONCLUSIONS

Within the limitations of the study, the authors concluded that the prefabricated Splendor - SAP seals seem to be a good alternative to the PMR because they present similarity in the values of fracture resistance, in addition to maintaining the resistance values for thicknesses of 0.5mm and roots that do not have a ferrule.

6. References

- [1] Y. Zhang, J.M. Han, L. Liu, X.L. Deng, [Study of bond strength of one-piece glass fiber posts-and-cores with flared root canals in vitro], Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban 51(2) (2019) 327-334.
- [2] G.A. Galhano, L.F. Valandro, R.M. de Melo, R. Scotti, M.A. Bottino, Evaluation of the flexural strength of carbon fiber-, quartz fiber-, and glass fiber-based posts, J Endod 31(3) (2005) 209-11.
- [3] R.R. Barcellos, D.P. Correia, A.P. Farina, M.F. Mesquita, C.C. Ferraz, D. Cecchin, Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with intra-radicular

post: the effects of post system and dentine thickness, *J Biomech* 46(15) (2013) 2572-7.

[4] M. Rezaei Dastjerdi, K. Amirian Chaijan, S. Tavanafar, Fracture resistance of upper central incisors restored with different posts and cores, *Restor Dent Endod* 40(3) (2015) 229-35.

[5] M.S. Bilgin, A. Erdem, E. Dilber, I. Ersoy, Comparison of fracture resistance between cast, CAD/CAM milling, and direct metal laser sintering metal post systems, *J Prosthodont Res* 60(1) (2016) 23-8.

[6] P. Panitiwat, P. Salimee, Effect of different composite core materials on fracture resistance of endodontically treated teeth restored with FRC posts, *J Appl Oral Sci* 25(2) (2017) 203-210.

[7] A.P. Farina, H. Chiela, B. Carlini-Junior, M.F. Mesquita, D.C. Miyagaki, C.C. Randi Ferraz, C.M. Vidal, D. Cecchin, Influence of Cement Type and Relining Procedure on Push-Out Bond Strength of Fiber Posts after Cyclic Loading, *J Prosthodont* 25(1) (2016) 54-60.

[8] S. Grandini, S. Sapio, M. Simonetti, Use of anatomic post and core for reconstructing an endodontically treated tooth: a case report, *J Adhes Dent* 5(3) (2003) 243-7.

[9] A.L. Faria-e-Silva, F. Pedrosa-Filho Cde, S. Menezes Mde, D.M. Silveira, L.R. Martins, Effect of relining on fiber post retention to root canal, *J Appl Oral Sci* 17(6) (2009) 600-4.

[10] D.G. de Franca, M.H. Morais, F.D. das Neves, A.F. Carreiro, G.A. Barbosa, Precision Fit of Screw-Retained Implant-Supported Fixed Dental Prostheses Fabricated by

CAD/CAM, Copy-Milling, and Conventional Methods, *Int J Oral Maxillofac Implants* 32(3) (2017) 507-513.

[11] J. Pang, C. Feng, X. Zhu, B. Liu, T. Deng, Y. Gao, Y. Li, J. Ke, Fracture behaviors of maxillary central incisors with flared root canals restored with CAD/CAM integrated glass fiber post-and-core, *Dent Mater J* 38(1) (2019) 114-119.

[12] D. Cecchin, J.F. Almeida, B.P. Gomes, A.A. Zaia, C.C. Ferraz, Deproteinization technique stabilizes the adhesion of the fiberglass post relined with resin composite to root canal, *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 100(2) (2012) 577-83.

[13] L.V. Zogheib, J.R. Pereira, A.L. do Valle, J.A. de Oliveira, L.F. Pegoraro, Fracture resistance of weakened roots restored with composite resin and glass fiber post, *Braz Dent J* 19(4) (2008) 329-33.

[14] J.R. Pereira, A.L. do Valle, F.K. Shiratori, J.S. Ghizoni, E.A. Bonfante, The effect of post material on the characteristic strength of fatigued endodontically treated teeth, *J Prosthet Dent* 112(5) (2014) 1225-30.

[15] J.C. Facenda, M. Borba, P. Benetti, A. Della Bona, P.H. Corazza, Effect of supporting substrate on the failure behavior of a polymer-infiltrated ceramic network material, *J Prosthet Dent* 121(6) (2019) 929-934.

[16] C.L. Pinto, C.L.B. Bhering, G.R. de Oliveira, A. Maroli, V.F. Reginato, R.A. Caldas, A. Bacchi, The Influence of Post System Design and Material on the Biomechanical Behavior of Teeth with Little Remaining Coronal Structure, *J Prosthodont* 28(1) (2019) e350-e356.

- [17] D. Cecchin, A.P. Farina, C.A. Guerreiro, B. Carlini-Junior, Fracture resistance of roots prosthetically restored with intra-radicular posts of different lengths, *J Oral Rehabil* 37(2) (2010) 116-22.
- [18] B. Carlini-Junior, D. Cecchin, A.P. Farina, G.D. Pereira, L.T. Prieto, L.A. Paulillo, Influence of remaining coronal structure and of the marginal design on the fracture strength of roots restored with cast post and core, *Acta Odontol Scand* 71(1) (2013) 278-82.
- [19] E.S. Reeh, H.H. Messer, W.H. Douglas, Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures, *J Endod* 15(11) (1989) 512-6.
- [20] A.S. Fernandes, G.S. Dessai, Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: a review, *Int J Prosthodont* 14(4) (2001) 355-63.
- [21] F. Iaculli, C. Rengo, V. Lodato, R. Patini, G. Spagnuolo, S. Rengo, Fracture resistance of endodontically-treated maxillary premolars restored with different type of posts and direct composite reconstructions: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies, *Dent Mater* (2021).
- [22] E. Bru, L. Forner, C. Llena, A. Almenar, Fibre post behaviour prediction factors. A review of the literature, *J Clin Exp Dent* 5(3) (2013) e150-3.
- [23] A.M. Ibrahim, L.C. Richards, T.L. Berekally, Effect of remaining tooth structure on the fracture resistance of endodontically-treated maxillary premolars: An in vitro study, *J Prosthet Dent* 115(3) (2016) 290-5.
- [24] P.P. Garcia, R.G. da Costa, A.V. Garcia, C.C. Gonzaga, L.F. da Cunha, C.E. Rezende, G.M. Correr,

Effect of surface treatments on the bond strength of CAD/CAM fiberglass posts, *J Clin Exp Dent* 10(6) (2018) e591-e597.

[25] R.A. Dantas, L.A. Delgado, A.K.A. Rolim, J.N. Martins, V.L. Ortega, G.d.G. Ramos, Comparação da resistência de pino intrarradicular de fibra de vidro com pino experimental confeccionado pela tecnologia CAD/CAM, *Research, Society and Development* 9(7) (2020).

[26] V. Gehrcke, M. de Oliveira, F. Aarestrup, M. do Prado, C.O. de Lima, C.N. Campos, Fracture Strength of Flared Root Canals Restored with Different Post Systems, *Eur Endod J* 2(1) (2017) 1-5.

[27] D.T.H. Mazzocato, R.; Pires, L, A. G.; Mota, E.; Moraes, L. F.; Mazzocato, S. T., Propriedades flexurais de pinos diretos, *Revista Dental Press de Estética* 3 (2006) 21 - 36.

[28] J.B. Meira, C.O. Esposito, M.F. Quitero, I.A. Poiate, C.S. Pfeifer, C.B. Tanaka, R.Y. Ballester, Elastic modulus of posts and the risk of root fracture, *Dent Traumatol* 25(4) (2009) 394-8.

[29] G.H. Ruschel, E.A. Gomes, Y.T. Silva-Sousa, R.G.P. Pinelli, M.D. Sousa-Neto, G.K.R. Pereira, A.O. Spazzin, Mechanical properties and superficial characterization of a milled CAD-CAM glass fiber post, *J Mech Behav Biomed Mater* 82 (2018) 187-192.

[30] Z. Chen, Y. Li, X. Deng, X. Wang, A novel computer-aided method to fabricate a custom one-piece glass fiber dowel-and-core based on digitized impression and crown preparation data, *J Prosthodont* 23(4) (2014) 276-83.

- [31] Angelus, Splendor SAP, 2021. <https://angelus.ind.br/produto/splendor-sap/>. (Accessed 2021/04/06 2021).
- [32] A. Lanza, R. Aversa, S. Rengo, D. Apicella, A. Apicella, 3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor, *Dent Mater* 21(8) (2005) 709-15.
- [33] M. Kalkan, A. Usumez, A.N. Ozturk, S. Belli, G. Eskitascioglu, Bond strength between root dentin and three glass-fiber post systems, *J Prosthet Dent* 96(1) (2006) 41-6.
- [34] V.C. Macedo, A.L. Faria e Silva, L.R. Martins, Effect of cement type, relining procedure, and length of cementation on pull-out bond strength of fiber posts, *J Endod* 36(9) (2010) 1543-6.
- [35] P.M. Lloyd, J.F. Palik, The philosophies of dowel diameter preparation: a literature review, *J Prosthet Dent* 69(1) (1993) 32-6.
- [36] A. Maroli, K.A.L. Hoelcher, V.F. Reginato, A.O. Spazzin, R.A. Caldas, A. Bacchi, Biomechanical behavior of teeth without remaining coronal structure restored with different post designs and materials, *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl* 76 (2017) 839-844.
- [37] (!!! INVALID CITATION !!! {}).
- [38] G. Bonfante, O.B. Kaizer, L.F. Pegoraro, A.L. do Valle, Fracture strength of teeth with flared root canals restored with glass fibre posts, *Int Dent J* 57(3) (2007) 153-60.
- [39] P.E. Fontana, T.C. Bohrer, V.F. Wandscher, L.F. Valandro, I.F. Limberger, O.B. Kaizer, Effect of Ferrule

Thickness on Fracture Resistance of Teeth Restored With a Glass Fiber Post or Cast Post, Oper Dent 44(6) (2019) E299-E308.

[40] J.A. Sorensen, M.J. Engelman, Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth, J Prosthet Dent 63(5) (1990) 529-36.

[41] A. Bacchi, R.A. Caldas, D. Schmidt, M. Detoni, S. Matheus Albino, D. Cecchin, A.P. Farina, Fracture Strength and Stress Distribution in Premolars Restored with Cast Post-and-Cores or Glass-Fiber Posts Considering the Influence of Ferrule, Biomed Res Int 2019 (2019) 2196519.