



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

FELIPE BERNARDO DE MOURA

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FRATURA DE DENTES COM
FRAGILIZAÇÃO SIMULADA UTILIZANDO SISTEMA DE PINOS
DE FIBRA DE VIDRO**

2023

FELIPE BERNARDO DE MOURA

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FRATURA DE DENTES COM FRAGILIZAÇÃO
SIMULADA UTILIZANDO SISTEMA DE PINOS DE FIBRA DE VIDRO**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE, pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À SAÚDE BUCAL.

Área: Endodontia. Linha de pesquisa: Estudos Clínicos e Laboratoriais de Materiais e Técnicas Endodônticas.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Antonio Talge de Carvalho

São José dos Campos

2023

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2023]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Moura, Felipe Bernardo de

Avaliação da resistência à fratura de dentes com fragilização simulada utilizando sistema de pinos de fibra de vidro / Felipe Bernardo de Moura. - São José dos Campos : [s.n.], 2023.
47 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2023.

Orientador: Cláudio Antonio Talge de Carvalho.

1. Resistência à fratura. 2. Pinos de fibra de vidro. 3. Raízes fragilizadas. I. Carvalho, Cláudio Antonio Talge de, orient. II. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. III. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. IV. Universidade Estadual Paulista (Unesp). V. Título.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Assoc. Cláudio Antonio Talge de Carvalho (Orientador)

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus São José dos Campos

Prof. Dr. Felipe Nogueira Anacleto

Universidade Anhanguera

Campus São José dos Campos

Profa. Titular Marcia Carneiro Valera Garakis

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciências e Tecnologia

Campus São José dos Campos

São José dos Campos, 08 de Fevereiro de 2023.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, ***Jaqueline*** e ***Francisco***, ao meu irmão ***Bruno***, e à minha querida ***Beatriz***. Sem a ajuda e companheirismo de vocês, certamente essa conquista não seria possível. Minha gratidão a todos vocês.

AGRADECIMENTOS

À minha família, especialmente aos meus pais **Jaqueline** e **Francisco**, os quais não mediram esforços desde a infância para eu e meu irmão pudéssemos ter a oportunidades de trilhar nossos caminhos. Sou eternamente grato a vocês.

Ao meu orientador, **Prof. Assoc. Cláudio Antonio Talge de Carvalho**, por toda a confiança depositada em mim, além de todo o apoio e presença para que esse trabalho fosse possível. Com toda a certeza um exemplo de profissional e Professor, sempre muito respeitoso e generoso. Muito obrigado!

À **Prof.a Tit. Marcia Carneiro Valera**, pela confiança depositada em mim e pelo profissionalismo e seriedade com a qual conduz todas as ações dentro do ambiente de ensino. Um grande exemplo de Professora, pela qual cultivo grande admiração. Muito obrigado!

Ao meu querido amigo **Carlos Xavier**, por dividir não apenas os anos de graduação mas também todos os momentos que se seguiram. Exemplo de odontologia justa, correta e eficiente.

A minha amiga **Carolina Gagliardi**, por dividir, desde o começo, todos os momentos dessa nossa jornada na pós-graduação.

Ao Instituto de Ciência e Tecnologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP e ao Programa de Pós Graduação em Odontologia Restauradora.

Ao professor da banca **Felipe Nogueira Anacleto**, primeiramente pelo aceite em compor a banca e por todo conhecimento compartilhado durante nosso convívio em clínica. Grande exemplo de como o conhecimento deve ser compartilhado entre aluno e Professor: sem amarras e sem interesses. Sou muito grato pela oportunidade que tive.

Ao **Prof. Assoc. Cesar Rogerio Pucci**, agradeço por todo apoio durante a execução desse trabalho.

À **Tháís Alves**, por ter dedicado tanto tempo e disposição em me mostrar tudo o que foi necessário para as análises deste trabalho. Sou grato por tamanho empenho e dedicação.

Aos colegas e amigos, **Carolina Trefiglio** e **Mariana Gimenez** por todo o convívio e amizade durante esses anos.

À **Josiana Carneiro** do Departamento de Odontologia Restauradora, por toda a ajuda.

A todos aqueles que direta e indiretamente participaram na realização deste projeto.

RESUMO

Moura FB. Avaliação da resistência à fratura de dentes com fragilização simulada utilizando sistema de pinos de fibra de vidro [dissertação]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2023.

O objetivo deste trabalho foi avaliar, *ex vivo*, pelo teste de compressão e ciclagem, a resistência a fratura de dentes que tiveram suas raízes fragilizadas em laboratório que receberam reforço intrarradicular com um modelo de pino de fibra de vidro Splendor-SAP em comparação ao pino de fibra de vidro Exacto. Além disso, foi realizada análise por elementos finitos para identificar os pontos de maior estresse estrutural. Foram utilizadas 60 raízes de dentes bovinos, os espécimes foram seccionados e padronizados com 16 mm de comprimento. Os canais foram instrumentados em toda a sua extensão utilizando limas endodônticas manuais. As amostras foram aleatoriamente distribuídas em seis grupos acordo com a espessura do remanescente radicular medidos a partir do terço cervical (2 mm e 3 mm) e o reforço radicular a ser utilizado (n=10): G1 - Controle 1, com remanescente radicular de 2 mm e sem reforço intrarradicular; G2 - Controle 2, com remanescente radicular de 3 mm e sem reforço intrarradicular; G3 - Com remanescente de 2 mm e reforço intrarradicular utilizando pino Exacto; G4 - Com remanescente radicular de 3 mm e reforço intrarradicular utilizando Exacto; G5 - Com remanescente radicular de 2 mm e reforço intrarradicular utilizando Splendor-SAP; G6 - Com remanescente radicular de 3 mm e reforço intrarradicular utilizando Splendor-SAP. Para a fragilização simulada, o desgaste radicular foi de 12 mm no interior do canal. Em seguida, os canais foram obturados e o material obturador removido dos terços cervical e médio, restando apenas 4 mm de material no terço apical. A cimentação dos pinos foi realizada seguindo o protocolo do fabricante. O teste de fadiga foi realizado por ciclagem mecânica dos espécimes para o envelhecimento das mesmas (1200000 ciclos; 3.8 Hz; carga = 88 N). Foi realizado o teste de compressão pela máquina de Ensaio Universais, com célula de carga de 100 Kg à velocidade de 1 mm/min com incidência a 45°. Os valores médios de resistência à fratura encontrados para os grupos, em ordem crescente, foram: G1 - 9,045 kgf, G2 - 9,753 kgf, G3 - 68,411 kgf, G4 - 80,167 kgf, G5 - 70,551 e G6 - 80,027. Os espécimes foram analisados em estereomicroscópio para classificação do modo de falha. Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística (ANOVA e Tukey) que demonstrou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Palavras-chave: resistência à fratura; pinos de fibra de vidro; raízes fragilizadas.

ABSTRACT

Moura FB. Fracture resistance evaluation of teeth with simulated embrittlement using fiberglass post system [dissertation]. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2023.

The objective of this work was to evaluate, ex vivo, by compression and cycling test, the resistance to fracture of teeth that had their roots weakened in the laboratory and that received intraradicular reinforcement with a Splendor-SAP fiberglass post model in comparison to the Exact fiberglass pin. In addition, finite element analysis was performed to identify the points of greatest structural stress. Sixty roots of bovine teeth were used, the specimens were sectioned and standardized with 16mm in length. The canals were instrumented along their entire length using manual endodontic files. The samples were randomly distributed into six groups according to the thickness of the root remnant (2 mm and 3 mm) and the root reinforcement to be used (n=10): G1 - Control 1, with a 2 mm root remnant and without intraradicular reinforcement ; G2 - Control 2, with root remnant of 3 mm and without intraradicular reinforcement; G3 - With a 2 mm remnant and intraradicular reinforcement using an Exacto post; G4 - With root remnant of 3 mm and intraradicular reinforcement using Exacto; G5 - With root remnant of 2 mm and intraradicular reinforcement using Splendor-SAP; G6 - With root remnant of 3 mm and intraradicular reinforcement using Splendor-SAP. For simulated embrittlement, root wear was 12 mm inside the canal. Then, the specimens were obturated and had the obturator material removed from the cervical and middle thirds, leaving only 4 mm of material in the apical third. The cementation of the posts was performed following the manufacturer's protocol. The fatigue test was carried out by mechanical cycling of the specimens for their aging (1200000 cycles; 3.8 Hz; load = 88 N). The compression test was carried out using the Universal Testing machine, with a load of 100 kg at a speed of 1 mm/min with an incidence of 45°. The average fracture resistance values found for the groups, in ascending order, were: G1 - 9,045 kgf, G2 - 9,753 kgf, G3 - 68,411 kgf, G4 - 80,167 kgf, G5 - 70,551 e G6 - 80,027. The specimens were analyzed under a stereomicroscope to classify the failure mode. The results obtained were submitted to statistical analysis (ANOVA and Tukey) which showed a statistically significant difference ($p<0.05$).

Keywords: fracture resistance; fiberglass pins; fragile roots.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Retentores intrarradiculares	11
2.2 Reforços de raízes fragilizadas	14
2.3 Dentes bovinos versus dentes humanos	18
3 PROPOSIÇÃO	21
4 MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 Delineamento experimental e divisão dos grupos	22
4.2 Preparo dos dentes	22
4.2.1 Preparo para fragilização	23
4.2.2 Obturação dos canais	24
4.3 Preparo dos corpos de prova	25
4.3.1 Reforço intrarradicular	26
4.4 Ciclagem mecânica	28
4.5 Teste de resistência à compressão	29
4.6 Análise microscópica	29
5 RESULTADO	31
6 DISCUSSÃO	34
7 CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Dentes permanentes com grande perda de estrutura decorrente de cáries amplas, restaurações extensas ou traumatismos, bem como dentes jovens com raízes fragilizadas são objeto de interesse da odontologia restauradora devido a necessidade da manutenção do sistema estomatognático e sua importância para a saúde física e psicológica do indivíduo (Li, 2016). Tendo causa multifatorial (Cvek, 1992), a perda de estrutura dentinária pode ser extensa ao ponto de se fazer necessário o tratamento endodôntico do elemento assim como o reforço estrutural do mesmo.

Devido a modificações morfológicas e estruturais, um dente jovem sem polpa tende a apresentar maior fragilidade e, conseqüentemente, ser mais suscetível a trincas e fraturas (Sedgley, 1992; Danwittayakorn, 2019). Por conta disso, o uso de dispositivos intrarradiculares, assim como uma terapia endodôntica eficaz, se faz essencial para a manutenção do elemento dentário maduro que apresenta grande perda estrutural (Danwittayakorn, 2019).

Dentes com formação completa apresentam alterações anatômicas e resistência mecânica diferentes quando comparados a dentes imaturos. Entretanto, a necessidade de um bom manejo do remanescente dentário se faz igualmente necessário devido a grande perda de estrutura que os mesmos podem apresentar (Schwartz, 2004; Peroz, 2005; Al-Omiri, 2010).

Para esta aplicação, o mercado dispõe de inúmeros sistemas de retentores intrarradiculares das mais variadas formas e materiais, tornando essencial o conhecimento do cirurgião dentista sobre a correta indicação e técnica utilizada (Andreasen, 1989). A princípio, os núcleos metálicos fundidos foram fortemente difundidos e utilizados, contudo sua utilização foi comprometida quando estudos mostraram que este tipo de pino apresentava uma distribuição de forças desfavorável ao remanescente dental, devido ao seu alto módulo de elasticidade, aumentando o risco de fraturas radiculares (Xible, 2006; Barjau-Escribano, 2006; Yamamoto, 2009; Coelho, 2009). Além disso, em casos em que a estética é uma exigência, os pinos metálicos se mostram desfavoráveis mais uma vez, já que em decorrência das paredes finas das raízes fragilizadas ocorre uma alteração na

transmissão de luz pela estrutura dentária (Takehashi, 1998; Stewardson, 2001; Pitel, Hicks, 2003). Há anos no mercado, os retentores em fibra de vidro demonstram satisfatória resistência à fratura, menor módulo de elasticidade (Akkayan, 2002) quando comparado com pinos metálicos além de maior facilidade em sua utilização. Estudos clínicos demonstram a efetividade dos pinos, sendo assim uma alternativa para a reabilitação de elementos dentários com grandes perdas de estrutura (Gbadebo, 2014).

Entretanto, estudos demonstram que os retentores intrarradiculares não desempenham papel no aumento da resistência do dente em tratamento mas sim na melhora da retenção da porção coronária do núcleo de preenchimento (Fokking, 2005; Mohammadi, 2009; Lazari, 2017; Chirila, 2020). Esses estudos buscam avaliar o reforço estrutural dado a dentes tratados endodonticamente, assim como dentes com perda de remanescente, mas não uma análise quantitativa da estrutura de remanescente relacionado com o material empregado na reabilitação.

Neste contexto, o presente estudo se justifica pela necessidade de novas pesquisas utilizando novos sistema de pinos de fibra de vidro como reforço estrutural em dentes com fragilidade radicular que possam ser utilizados realizando pouco ou nenhum desgaste do remanescente já fragilizado, como o pino de fibra de vidro Splendor-SAP, melhorando a adesão dos materiais além de associar o volume de remanescente dentário ao prognóstico do tratamento, possibilitando o aumento na longevidade de dentes na cavidade bucal.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Essa revisão de literatura tem como objetivo realizar um levantamento das principais publicações relacionadas à retentores intrarradiculares e à resistência à fratura de dentes com raízes fragilizadas. Para melhor entendimento, a mesma foi dividida nos seguintes tópicos: Retentores intrarradiculares, Reforço de raízes imaturas e fragilizadas, e Dentes bovinos versus dentes humanos em estudos *in vitro*.

2.1 Retentores intrarradiculares

Em 2010, Cecchin et al. e colaboradores demonstraram que o comprimento do pino intrarradicular utilizado influencia de forma direta na resistência à fratura de dentes tratados endodonticamente. Para isso, avaliaram a resistência à fratura de raízes restauradas com pinos intrarradiculares de diferentes comprimentos. Quarenta e sete incisivos bovinos tiveram suas coroas seccionadas e comprimento radicular padronizado em 17 mm e divididos em três grupos experimentais de acordo com comprimento do pino: GI – 12 mm, GII – 8 mm e GIII – 4 mm. Em todos os grupos foram utilizados pinos de fibra de vidro, cimento resinoso, núcleos em resina composta e coroas metálicas. As amostras foram submetidas ao teste de resistência à fratura em uma máquina universal de ensaios, em um ângulo de 135° e velocidade de 0,5 mm/min, até a ocorrência da fratura. Os maiores valores de resistência à fratura foram obtidos pelos grupos com 12 mm e 8 mm de comprimento do pino. Após a análise estatística, observou-se que entre esses grupos não houve diferença estatisticamente significativa, entretanto ambos foram estatisticamente diferentes quando comparados com o grupo com 4 mm de comprimento de pino. Assim concluiu-se que o comprimento do pino intrarradicular influencia a resistência à fratura da raiz restaurada proteticamente.

Em 2013, Torres-Sánchez e colaboradores, compararam a resistência à fratura de pré molares extraídos que receberam reforço radicular utilizando pino de

fibra de vidro e núcleo metálico fundido. Foram utilizados quarenta e dois dentes divididos em 6 grandes grupos, dos quais 3 foram reforçados com pino de fibra de vidro e 3 utilizando núcleo metálico fundido de ouro. Foi feita uma subdivisão dos grupos, de acordo com o tipo de cimentação dos pinos: usando cimento resinoso modificado com ionômero de vidro, cimento resinoso dual e cimento resinoso de presa química. Após a confecção das coroas, os espécimes foram submetidos a teste de resistência à fratura no qual foi aplicada uma carga utilizando velocidade de 3mm/min na face palatina da coroa até que a fratura ocorresse. Após a análise estatística dos resultados os autores puderam concluir que, dentro das limitações do estudo proposto, o uso de pino de fibra de vidro aumenta consideravelmente os valores de resistência à fratura dos espécimes, assim como o grupo no qual foi utilizado cimento resinoso modificado com ionômero de vidro apresentou os maiores valores de resistência à fratura.

Uma revisão de literatura sobre os mecanismos de falha dos pinos de fibra de vidro foi realizada por Barfeie et al. em 2015. Após a análise dos pesquisadores, dezenove estudos clínicos prospectivos foram selecionados e nestes foram evidenciados as principais causas de falha dos pinos de fibra de vidro reportadas: falha de adesão, fratura de raiz, fratura de pino, falha no tratamento endodôntico, cáries secundárias e complicações periodontais. Após uma criteriosa análise, os autores puderam demonstrar que a falha de adesão foi citada em 16 dos trabalhos clínicos utilizados. Por mais que outras pesquisas clínicas sejam necessárias para o tema e que os fatores de risco para o insucesso na utilização dos pinos de fibra de vidro sejam múltiplos, os autores demonstraram que há necessidade de se aprimorar os processos de adesão dos componentes a fim de maximizar o sucesso dos casos nos quais pinos de fibra são utilizados.

Em 2015, Penelas et al. avaliaram a influência da espessura de cimento na resistência à fratura e de união em dentes que foram restaurados com pinos pré-fabricados reforçados por fibras. 100 incisivos foram divididos em dois grupos (n=50) de acordo com o critério a ser analisado (resistência de união - BS e resistência à fratura - FR). Os 50 dentes de cada grupo foram distribuídos em cinco subgrupos (n=10) de acordo com o diâmetro do retentor a ser utilizado (WhitePost DC no 0,5, no 1, no 2, no 3, no 4), mantendo assim cinco espessuras diferentes de cimento. Foi utilizado cimento resinoso para todos os dentes analisados. Nos

espécimes do grupo o qual foi analisada a resistência à fratura, o ligamento periodontal foi simulado por meio de uma camada acetato de 0,3 mm de espessura utilizando plastificadora a vácuo, em seguida os espécimes foram inclusos em tubos de PVC com resina acrílica para o teste de compressão. Os espécimes do grupo BS foram submetidos ao teste *push out* e os espécimes do grupo FR foram submetidos ao teste de compressão. Após a análise estatística os autores puderam concluir que um pino de fibra bem adaptado, observando pouca espessura de cimento, resulta em maiores valores de resistência de união. No que diz respeito à resistência à fratura, a espessura de cimento demonstrou não ter influência direta.

Em 2016, Wang e colaboradores compararam a performance mecânica de um pino de fibra de vidro reforçado, desenvolvido pelos próprios autores, com um pino já disponível no mercado que apresentava medidas físicas menores. O pino confeccionado tinha comprimento de 17 mm e foi subdividido em 3 regiões: ponta, meio e região coronal com, respectivamente, 6 mm, 6 mm e 5 mm. A região de ponta do pino apresentava secção transversal circular e 1 mm de raio; a região do meio do pino apresentava secção transversal circular-ovalada com raio de 1,6 mm; e a região coronal apresentava secção transversal oval com 3,2 mm em seu maior eixo e 1,6 mm em seu eixo menor. Os pinos foram cimentados em dentes simulados que foram confeccionados por meio de fresagem tomando como modelo pré molares, padronizando assim as amostras. Após os testes de resistência à rotação cíclica e análise estatística dos resultados, os autores puderam concluir que o pino produzido mostrou maiores valores de resistência assim como melhor adaptação do que o pino utilizado na comparação (menos volumoso e mais longo).

Uma revisão de literatura e meta-análise foi realizada por Jurema e colaboradores em 2020 com o intuito de avaliar a resistência à fratura de dentes anteriores tratados endodonticamente e investigar se o uso de pino de fibra de vidro tem influência na resistência à fratura desses dentes quando comparados a outros tratamentos restauradores alternativos. Após o agrupamento dos trabalhos, 31 estudos foram mantidos, sendo 17 considerados de baixo risco de viés, 10 com médio risco e 4 com alto risco de viés. Com a análise desses trabalhos, os autores puderam observar que o uso de pinos de fibra de vidro aumentam a resistência a fratura de dentes tratados endodonticamente e que receberam processos restauradores.

2.2 Reforços de raízes fragilizadas

Carvalho et al. (2005) avaliaram *in vitro* a eficácia de resina composta fotopolimerizável e de pinos de fibra de zircônia em dentes com fragilização radicular simulada. Cinquenta e seis incisivos bovinos que tiveram suas coroas seccionadas e comprimento radicular padronizado em 30 mm foram utilizados. Os espécimes foram divididos em quatro grupos, de acordo com fragilização e modelo de reforço: 1) fragilização simulada e reforço radicular com resina composta fotopolimerizável e pino do sistema Luminex; 2) fragilização simulada e reforço radicular com pino de fibra de zircônia; 3) fragilização simulada e nenhum reforço radicular; e 4) sem fragilização simulada e sem reforço radicular. A ampliação dos canais foi realizada inicialmente com a sequência de brocas Gates-Glidden, seguida da utilização de uma broca cônica arredondada, em baixa rotação. Dessa forma os 20 mm, terço cervical e terço médio, da extensão dos canais foram ampliados de maneira que a espessura remanescente das paredes dentinárias fossem de ± 2 mm. Após a cimentação todos os espécimes foram incluídos em blocos de resina acrílica para o teste de compressão, mantendo apenas 5 mm do terço cervical livres. O ligamento periodontal foi simulado com adesivo de silicone. Todos os espécimes foram submetidos ao teste de compressão com carga de 100 kg e velocidade 1 mm/min. A maior resistência (133,06 Kgf) obtida foi para o grupo 4 (controle negativo) seguido dos grupos 2 (122,38 Kgf) e grupo 1 (122,08 Kgf). O grupo 3 apresentou a menor resistência (78,28 Kgf). A análise estatística revelou que houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos 1 e 2; entretanto os mesmos foram estatisticamente diferentes dos grupos controle 3 e 4. Com isso os autores puderam concluir que o uso de pinos de fibra de zircônia ou resina composta aumentou significativamente a resistência à fratura de dentes imaturos simulados.

Em 2009, Hemalatha et al. demonstraram que a utilização de fitas a base de polietileno (Ribbond) associadas ao cimento Panavia F aumentaram significativamente a resistência à fratura de raízes imaturas simuladas. Para isso, os autores compararam a capacidade de reforço do Resilon, da guta percha e de

Ribbond em dentes imaturos simulados. 65 dentes anteriores humanos extraídos tiveram seu diâmetro radicular ampliado com brocas Largo #6 para simular um dente imaturo. As amostras foram divididas em quatro grupos: G1 - controle, sem preenchimento; G2 - preenchido com gutapercha e cimento AH plus sealer; G3 - preenchido com Resilon e cimento Epiphany; e G4 preenchido com fitas Ribbond e cimento Panavia F. Os dentes foram submetidos ao teste de resistência à fratura onde o maior valor de carga para fratura foi apresentado pelo G4. O Resilon não fortaleceu as raízes e não apresentou diferença estatística significativa quando comparado ao grupo preenchido com gutapercha no reforço de dentes imaturos.

Schmoldt et al. em 2011 analisaram, após o processo de termociclagem, a resistência à fratura de dentes com fragilização simulada restaurados com pino de fibra de vidro e núcleo composto, MTA, gutapercha e apenas núcleo composto. Após a restauração dos espécimes, todos os dentes foram termociclados com 500 ciclos a 5°C e 55°C, com um tempo de espera de 30 s e um tempo de transferência de 5 s. Os espécimes foram inclusos em resina acrílica para o teste de compressão. A velocidade utilizada foi de 5 mm/min. Os resultados obtidos demonstraram que os dentes imaturos com paredes dentinárias finas podem ser melhor reforçados pela restauração com um pino de fibra e núcleo composto. Os dentes neste estudo que foram restaurados dessa maneira foram significativamente mais resistentes à fratura do que os dentes restaurados com MTA, gutapercha ou composto isoladamente.

Em 2013, Dikbas et al. demonstraram que o reforço utilizando pinos de fibra de quartzo, fibra de vidro e zircônia, foram capazes de reforçar dentes imaturos simulados, quando comparados com o preenchimento dos canais radiculares utilizando apenas AHPlus e gutapercha. Para isso os autores distribuíram aleatoriamente 48 dentes anteriores, com comprimento padronizado e diâmetro do canal radicular ampliado, em quatro grupos: grupo controle, preenchido com AHPlus e gutapercha; grupo reforçado com pinos de fibra de vidro e cimento resinoso autoadesivo; grupo reforçado com pinos de fibra quartzo e cimento resinoso autoadesivo; e grupo reforçado com pinos de zircônia e cimento resinoso autoadesivo. O menor valor médio de resistência à fratura obtido foi pelo grupo controle e entre os grupos de pinos de fibra de vidro, pinos de fibra de quartzo e pinos de zircônia não houve diferença estatisticamente significativa.

Em 2015, Sivieri-Araujo et al. avaliaram a resistência à fratura de 50

incisivos bovinos, que tiveram suas raízes enfraquecidas para simulando um dente jovem imaturo, e restaurados utilizando três diferentes tratamentos intrarradiculares. Os dentes tiveram suas coroas seccionadas e seu comprimento radicular padronizado. Os espécimes foram divididos em cinco grupos: PoC - controle positivo, sem preparo e sem preenchimento do canal radicular; NeC - controle negativo, com preparo do canal radicular mas sem preenchimento; RaP - preparo do canal radicular e reforço com pino de fibra de vidro anatômico (Reforpost preparado com resina composta); ExP - preparo do canal radicular e reforço com pino de fibra de vidro Exacto (Angelus); RrP - preparo do canal radicular e reforço com pino de fibra de vidro principal associados a pinos acessórios (Reforpost + Reforpin). Exceto para os grupos controle todos os espécimes receberam plugs de MTA na região apical. O preparo para simulação de um dente jovem imaturo foi realizado com broca carbide 703. Após a cimentação os espécimes foram armazenados em incubadora a 37°C e 100% de umidade por 48 h. O ligamento periodontal foi simulado com material à base de poliéter com 0,25-0,30 mm de espessura. Todos os espécimes foram submetidos a testes de resistência à fratura com velocidade 0,5 mm/min em uma angulação de 135° em relação ao longo eixo do dente. Os grupos ExP e RaP apresentaram o maior valor médio de resistência à fratura (2355.3 N e 2052.4 N respectivamente) e o grupo controle negativo apresentou o menor (717.9 N). Os autores concluíram que os pinos de fibra de vidro proporcionam um aumento significativo na resistência à fratura de dentes bovinos imaturos simulados; e que pinos de fibra de vidro com dupla conicidade (ExP) e os pinos anatômicos diretos foram o melhor tipo de reconstrução para restaurar os dentes imaturos após a colocação dos plugs apicais do MTA.

Uma revisão sistemática e meta análise sobre a performance de pinos de fibra e pinos metálicos fundidos utilizados na reabilitação de dentes severamente comprometidos foi proposta por Wang et al. em 2018. Apenas estudos clínicos randomizados com acompanhamento de 3 anos foram utilizados e os critérios comparados foram os de sucesso, desadaptação do pino e fratura radicular. Após a análise dos trabalhos escolhidos e a verificação estatística, os autores constataram que os pinos de fibra de vidro demonstram taxa de sucesso em casos de 3 a 7 anos superior os pinos metálicos quando utilizados na reabilitação de dentes tratados endodonticamente que possuem menor espessura do remanescente dentinário.

Em 2021, Santos et al. avaliaram a resistência à fratura de oitenta raízes bovinas restauradas com pinos de fibra de vidro que receberam preparo para simulação de raízes fragilizadas. Os dentes foram divididos em 8 grupos: A) os dentes não receberam fragilização simulada e não receberam reforço intrarradicular; B) receberam fragilização simulada mas sem reforço intrarradicular; C) sem fragilização simulada e reforçados com pino de fibra de vidro Rebilda GT; D) receberam fragilização simulada e reforçados com pino Rebilda GT; E) não receberam fragilização simulada e receberam reforço com pino de fibra de vidro Rebilda tradicional; F) receberam fragilização simulada e reforço com pino de fibra de vidro Rebilda tradicional; G) sem fragilização e reforço utilizando a associação dos pinos Rebilda GT e tradicional; H) com fragilização e reforço utilizando a associação dos pinos Rebilda GT e tradicional. Os espécimes tiveram suas coroas reconstruídas com resina e submetidos ao teste de resistência à fratura em uma máquina de ensaios universal. A carga foi aplicada na face palatina das coroas em um ângulo de 45°, com velocidade de 1 mm/min até a fratura. Após a análise dos resultados, os autores puderam concluir que os grupos nos quais foi utilizada a associação dos pinos apresentaram as maiores cargas de resistência à fratura, assim como os grupos que apresentavam fragilização simulada resistiram menos do que os grupos sem fragilização.

Em 2022, em um trabalho realizado por Oliveira et al., os autores avaliaram a resistência à fratura e a probabilidade de sobrevivência de acordo com a carga recebida e o padrão de fratura de 60 dentes bovinos que foram divididos em dois grupos: fragilizados e não fragilizados. Essa fragilização se deu pelo desgaste interno das paredes do remanescente radicular até a obtenção de 0.5 mm de espessura das paredes do remanescente. Após o preparo das amostras, os dentes foram divididos em 3 grandes de acordo com o método de reabilitação do remanescente: utilizando pino e núcleo fresados em CAD-CAM; pino e núcleo confeccionados em liga metálica; e pino pré fabricado de fibra de vidro e núcleo em resina composta. Após a análise dos resultados, os autores concluíram que para os grupos fragilizados, os grupos restaurados utilizando pinos fresados e pinos de fibra de vidro apresentaram maior resistência à fratura, maior probabilidade de sobrevivência frente aos esforços aplicados e padrão de fraturas que possibilitaria o reparo.

2.3 Dentes bovinos versus dentes humanos

Saleh e Taymour, em 2003, analisaram a eficácia do uso de dentes bovinos como substitutos aos dentes humanos, especificamente em testes adesivos. Quarenta dentes bovinos e quarenta dentes humanos foram divididos em dois grupos de acordo com material restaurador utilizado, sendo eles resina composta ou cimento de ionômero de vidro modificado por resina. As amostras foram subdivididas em subgrupos de acordo com teste aplicados a elas: teste de cisalhamento e teste de tração. Após a análise estatística dos resultados, os autores observaram grande diferença entre as resistências à cisalhamento e à tração do esmalte humano e bovino. Por outro lado, por meio de equações de predição de regressão, o uso de dentes bovinos como substitutos homólogos para dentes humanos em estudos de colagem de adesão foram suportados pelos resultados.

A densidade e o diâmetro dos túbulos dentinários em dentina de origem bovina, condicionada por ácido fosfórico 35% e não condicionada, foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura por Dutra-Correa et al. (2007). Para tal estudo foram analisadas as regiões interna, média e externa da dentina de trinta incisivos bovinos. Os corpos de prova foram divididos em dois grupos, um recebeu condicionado com ácido fosfórico 35% por 90s e o outro não recebeu nenhum condicionamento. Pequenos sulcos foram feitos utilizando disco de carborundum a uma profundidade de 1 mm em três regiões: interna, média e externa. Após, os espécimes foram examinados por microscopia eletrônica de varredura, obtendo-se quinze micrografias para cada profundidade com uma ampliação de 2.500x para cada grupo. Os túbulos dentinários foram contados para se obter a densidade tubular de cada grupo. Para determinar o diâmetro tubular, uma análise através do software “Sistemas de Processamento e Análise de Imagens - LEICA Q500 MC foi utilizado. Os resultados obtidos mostraram que os túbulos dentinários em região externa possuíam aproximadamente $5,21 \pm 0,64 \mu\text{m}$ de diâmetro, nos grupos que receberam condicionamento ácido e aproximadamente $2,30 \pm 0,09 \mu\text{m}$ quando não houve condicionamento. Em profundidade média, os túbulos dentinários de dentina bovina condicionada apresentaram $4,62 \pm 0,37 \mu\text{m}$ de diâmetro e $1,93 \pm 0,11 \mu\text{m}$ de

diâmetro em dentina não condicionada, aproximadamente. Na região interna os túbulos eram mais estreitos do que em outras regiões, apresentando aproximadamente $2,71 \pm 0,72 \mu\text{m}$ de diâmetro em amostras que receberam condicionamento ácido e aproximadamente $1,77 \pm 0,06 \mu\text{m}$ de diâmetro nas amostras sem condicionamento. A diferença no diâmetro dos túbulos em amostras condicionadas revelou que a dentina peritubular possuía aproximadamente 0,47, 1,35 e 1,45 μm de espessura nas profundidades interna, média e externa, respectivamente. A análise das amostras que não receberam condicionamento ácido mostrou que a espessura da dentina peritubular diminui radicalmente da região externa para a região interna. A densidade tubular foi calculada apenas nas amostras que receberam condicionamento ácido. Os valores encontrados foram de $18,77 \pm 2,951$ por milímetro quadrado perto da junção dentino-esmalte, $29,433 \pm 29,51$ na região média, e $50,310 \pm 11,178$ perto da pré-dentina e polpa dentária. Com as imagens obtidas foi possível observar que o cone em forma de túbulo dentinário bovino possui sua base maior na extremidade externa, diferente da dentina humana cuja base maior está na extremidade pulpar. Além disso, a espessura de dentina peritubular é maior na dentina bovina externa em quando comparada à dentina humana, que apresenta espessura uniforme em todo túbulo dentinário. Com isso, os autores concluíram que a dentina bovina possui diferenças estruturais importantes em comparação com a dentina humana. Devido a isso, seu uso a fim de substituir a dentina humana deve ser feito com cautela.

Tanaka et al. em 2008 compararam a densidade radiográfica de dentes bovinos à de dentes humanos. Trinta dentes bovinos e vinte dentes humanos foram utilizados para se obter fatias de 1 mm de espessura, para que fossem radiografadas em equipamento de raios X intraoral com 65 kVp e 7 mA, tempo de exposição (0,08 s) e distância do sensor-alvo de 40 cm. As densidades radiográficas do esmalte, da dentina coronária e da dentina radicular de cada fatia foram obtidas de forma separada, utilizando-se a ferramenta "histograma" do software Adobe Photoshop 7.0. A densidade radiográfica média foi calculada com pela média aritmética dos valores encontrados em cada fatia de cada dente para esmalte, dentina coronária e dentina radicular. A análise estatística demonstrou diferença significativa para as densidades do esmalte bovino e do esmalte humano e para as densidades da dentina coronária bovina e dentina coronária humana. Os autores

não observaram diferença estatisticamente significativa para a densidade de dentina radicular humana e bovina. Com base nos dados obtidos, os autores concluíram que a radiodensidade do esmalte bovino é significativamente maior do que a do esmalte humano, enquanto a radiodensidade da dentina coronária bovina é estatisticamente menor do que a da dentina coronária humana. Em relação à densidade radiográfica da dentina radicular, se mostra menos densa nos dentes bovinos em comparação à dentes humanos, embora essa diferença não tenha sido estatisticamente significativa.

Em 2015, Teruel et al. compararam a composição química do esmalte e dentina de dentes humanos, bovinos, suínos e ovinos. Os autores compararam a composição química dos dentes humanos a outras espécies de mamíferos que são possíveis candidatos para substituí-los em estudos que testam os materiais dentais. 100 fragmentos de dentes extraídos foram obtidos de cada espécie. Análise elementar, análise termogravimétrica associada com espectrofotômetro de massa e análise com fluorescência foram realizadas em todos os espécimes. As análises mostraram que o esmalte e a dentina humanos possuem maior similaridade com o esmalte e a dentina bovina. Sendo assim, com base em sua composição química, os dentes bovinos devem ser a primeira escolha como substitutos para os dentes humanos na pesquisa.

3 PROPOSIÇÃO

Avaliar, utilizando ciclagem mecânica e teste de compressão, a resistência à fratura de incisivos bovinos fragilizados que receberam reforço intrarradicular com pino de fibra de vidro Splendor-SAP e pino de fibra de vidro Exacto.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Delineamento experimental e divisão dos grupos

Para esta pesquisa foram utilizadas 60 raízes de incisivos bovinos hígidos obtidas em matadouros da região do Vale do Paraíba. Os dentes foram divididos aleatoriamente em seis grandes grupos (n=10) de acordo o tipo de reforço intrarradicular utilizado e o tipo do preparo simulando fragilização:

G1: Controle 1 - Com 2 mm de espessura radicular remanescente e sem reforço intrarradicular;

G2: Controle 2 - Com 3 mm de espessura radicular remanescente sem reforço intrarradicular;

G3: Com 2 mm de espessura radicular remanescente e reforço intrarradicular utilizando pino Exacto;

G4: Com 3 mm de espessura radicular remanescente e reforço intrarradicular utilizando pino Exacto;

G5: Com 2 mm de espessura radicular remanescente e reforço intrarradicular utilizando Splendor-SAP;

G6: Com 3 mm de espessura radicular remanescente e reforço intrarradicular utilizando Splendor-SAP.

4.2 Preparo dos dentes

Todas as amostras foram preparadas por um único operador. Os dentes foram limpos por meio de raspagem radicular com curetas periodontais, armazenados em recipientes fechados contendo solução fisiológica e armazenados em freezer até o momento do uso. Foram selecionados apenas dentes com raízes retas e diâmetro radicular na região cervical de $10 \pm 0,5\text{mm}$. Suas coroas foram seccionadas abaixo do nível da junção cimento-esmalte com um disco de

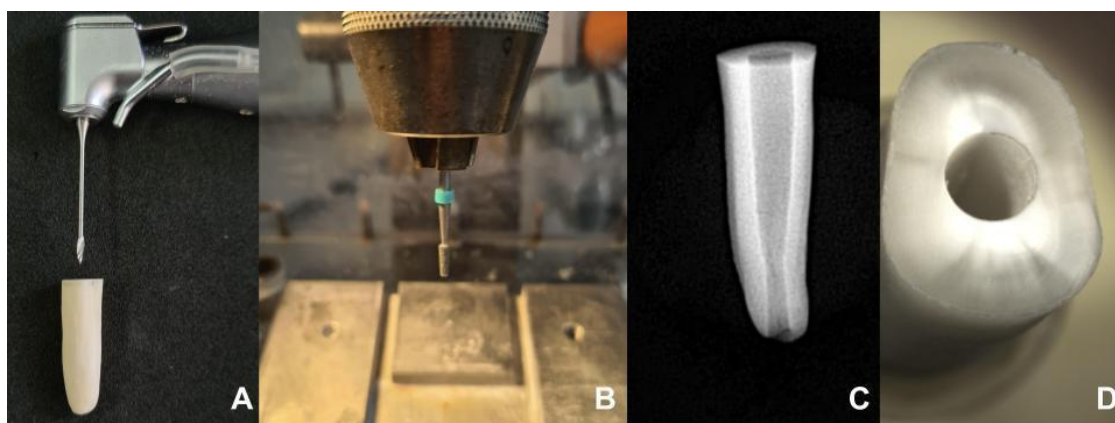
carborundum (Dentorium, São Paulo, SP, Brasil), padronizando o comprimento em 16mm. A remoção da polpa foi feita com limas endodônticas do tipo Hedström (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Suíça) nº 45. Os canais foram instrumentados em todo o diâmetro anatômico até a lima tipo Kerr (Maillefer - Dentsply, Petrópolis, RJ, Brasil) de nº80. Durante todo o preparo biomecânico, foram realizadas irrigações com solução de hipoclorito de sódio a 2.5% (Soda Clorada – Asper, Santa Maria, São Caetano do Sul, SP, Brasil), perfazendo um total de 10 mL.

4.2.1 Preparo para fragilização

Para a ampliação dos terços cervical e médio das raízes, simulando um dente com perda de remanescente, inicialmente os canais dos espécimes dos grupos G1, G2, G3, G4, G5 e G6 foram alargados até 12mm de extensão, com brocas Gates-Glidden (AR Maillefer - Dentsply, Petrópolis, RJ, Brasil) nº 3, 4, 5 e 6 (Figura 1A). Após, os espécimes foram presos ao suporte de uma cortadora de espécimes circulares para que fosse possível a inserção paralela ao longo eixo do canal radicular de brocas para realizar os desgaste radiculares (Figura 1B). Assim, as paredes dentinárias internas foram desgastadas com uma ponta diamantada para peça de mão em baixa rotação, de formato cônico arredondado 720 (Microdont, Monsey, New York, USA) nos primeiros 6 mm do canal radicular. Após, com uma broca de formato cônico plano 707G (KG Sorensen, Cotia, São Paulo, Brasil) para peça de mão em baixa rotação, foi realizado o alargamento radicular até 12 mm no interior do canal radicular, deixando 4 mm apical. Este alargamento foi realizado até obter-se a espessura radicular cervical remanescente de 2 mm e 3 mm. Para comprovar esta espessura, foram realizadas tomadas radiográficas no sentido vestibulo-lingual (VL) (Figura 1C) e mésiodistal (MD). Para isto, as raízes foram posicionadas sobre um sensor digital radiográfico (NanoPix - Eighteeth, Changzhou City, Jiangsu, China) com auxílio de cera utilidade. Em seguida, o sensor com a raiz posicionada foi colocado sobre uma superfície plana e o cone localizador do aparelho de raios-X posicionado perpendicularmente ao sensor e a raiz a uma distância de 10 cm. Para a tomada radiográfica, foi utilizado o aparelho de Raios X

(Kodak 2200, Intraoral X-ray System), com potência de saída no tubo de 66 kvp - 6,5 mA e potência nominal de 750 W. As imagens obtidas foram avaliadas e foi medida a espessura das paredes radiculares utilizando as ferramentas de medição do software de aquisição (NanoPix - Eighteeth, Changzhou City, Jiangsu, China). Após a avaliação positiva dos desgastes das raízes, as raízes foram analisadas em estereomicroscópio (7,5X; Discovery V20 – Zeiss, Munich, Germany) para a confirmação da ausência de trincas que poderiam interferir na resistência e estrutural do remanescente.

Figura 1 - Preparo para fragilização



Legenda: a) desgaste com broca Gates Glidden n4; b) broca de formato cônico plano 707G fixa na cortadora de espécimes circulares; c) Comprovação radiográfica; d) Análise em estereomicroscópio. Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.2 Obturação dos canais

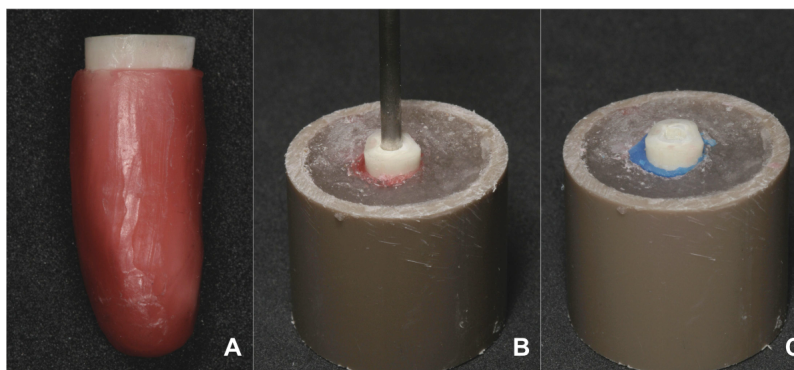
As raízes de todos os grupos tiveram os canais radiculares obturados em toda a sua extensão radicular com cones de guta-percha (Dentsply, Petrópolis, RJ, Brasil), técnica da condensação lateral ativa e cimento endodôntico (Sealer AH Plus - Dentsply, Petrópolis, RJ, Brasil), a fim de padronizar todas as amostras. Após a obturação, foram removidos 12mm do material obturador, nos terços cervical e médio da raiz, com calcadores elétricos (Eighteeth, Changzhou City, Jiangsu, China), deixando 4 mm de obturação no terço apical. Após, foi realizada a compressão vertical do material obturador utilizando calcador Paiva (Golgran, São Caetano do Sul, SP, Brasil) e limpeza da cavidade utilizando álcool etílico (Itajá – Jalles Machado

S/A, Goianésia, Goiás, Brasil). As cavidades de todas as raízes foram seladas utilizando cimento provisório à base de óxido de zinco (Vigodent - Coltene, Brasil). As raízes foram armazenadas por 72 horas em ambiente 100% úmido para que a completa presa do cimento fosse observada.

4.3 Preparo dos corpos de prova

Para simulação do ligamento periodontal as raízes foram imersas em cera utilidade derretida por 5 segundos, de modo a cobri-las com uma fina camada (aproximadamente 0,2 mm) (Figura 2A). Em foram posicionadas em cilíndricos de PVC padronizados, com 25 mm de diâmetro e 30 mm de altura que foram preenchidos com resina acrílica quimicamente ativada (JET Artigos Odontológicos Clássicos - Lapa -São Paulo). As raízes foram mantidas em posição, com auxílio de um delineador, até a polimerização da resina, mantendo 2 mm da porção coronária externamente ao bloco (Figura 2B). Após esse processo as raízes foram removidas dos cilindros preenchidos e toda a cera foi removida do conjunto. A cavidade formada na resina acrílica pela raiz foi preenchida com silicona de condensação (3M, Minnesota, EUA). Em seguida foi inserida a raiz, permitindo assim a adaptação da raiz no cilindro de resina com aproximadamente 0,2 mm de silicona entre a resina acrílica e a raiz, simulando o ligamento periodontal (Figura 2C).

Figura 2 - Preparo dos corpos de prova



Legenda: a) espécime coberto com fina camada de cera; b) espécime após inclusão em resina acrílica e com a simulação do ligamento periodontal; c) simulação do ligamento periodontal utilizando silicone.

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.1 Reforço intrarradicular

Os espécimes dos grupos G1 e G2 não receberam qualquer tipo de reforço intrarradicular. Para os grupos G3 e G4 foi adaptado o pino EXACTO (Angelus, Londrina, Brasil) (Figura 3A). O pino foi limpo com álcool (Itajá – Jalles Machado S/A, Goianésia, Goiás, Brasil), posicionado no canal e foi realizada a radiografia de conferência, na qual foram observadas a adaptação e o posicionamento do pino no canal radicular. As radiografias foram avaliadas no software de aquisição. Após uma avaliação positiva, toda a limpeza dos canais foi realizada de acordo com as instruções do fabricante. Sendo assim, o protocolo de instalação dos pinos foi realizado por um único operador. Dessa forma, os canais receberam condicionamento ácido por 30 segundos utilizando FUSION-DURALINK (Angelus, Londrina, Brasil) e os pinos lavados com álcool (Itajá – Jalles Machado S/A, Goianésia, Goiás, Brasil). Os canais foram secos com cones de papel (Tanari, Manacapuru, Amazonas, Brasil) e os pinos com jatos de ar. Foi aplicada uma fina camada de Silano (Angelus, Londrina, Brasil) nos pinos e após 60 segundos foram secos com jato de ar. Nas raízes, foi aplicada uma fina camada de adesivo dentinário (Ambar - FGM, Joinville, SC, Brasil) no interior do canal radicular e, após 20 segundos, foram secos com jato de ar.

O cimento resinoso dual (Allcem Core - FGM, Joinville, SC, Brasil) foi inserido preenchendo todo o canal, no sentido ápico-cervical, de acordo com as instruções do fabricante. Após, o pino EXACTO foi inserido no canal também seguindo as orientações do fabricante. Após a inserção completa do pino os excessos de cimento foram removidos e foi feita uma fotopolimerização por 40 segundos com luz de Led (Kondentech, São Carlos, São Paulo-Brasil).

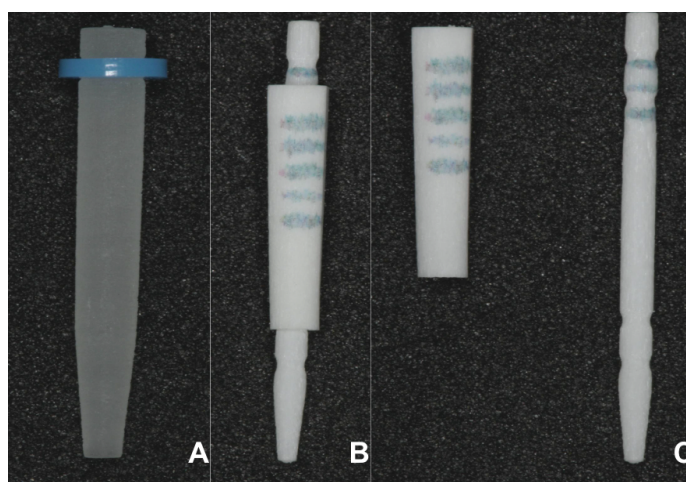
Para os grupos G5 e G6 foi adaptado o pino SPLENDOR-SAP (Angelus, Londrina, Brasil) (Figura 3B e 3C). O pino e sua luva foram limpos com álcool (Itajá – Jalles Machado S/A, Goianésia, Goiás, Brasil), posicionado no canal e foi realizada a radiografia de conferência, na qual foram observadas a adaptação e o posicionamento do pino no canal radicular. As radiografias foram avaliadas no software de aquisição. Após uma avaliação positiva, toda a limpeza dos canais foi realizada de acordo com as instruções do fabricante. Sendo assim, os canais receberam condicionamento ácido por 30 segundos utilizando FUSION-DURALINK

(Angelus, Londrina, Brasil) e os pinos e luvas lavados com álcool (Itajá – Jalles Machado S/A, Goianésia, Goiás, Brasil). Os canais foram secos com cones de papel (Tanari, Manacapuru, Amazonas, Brasil) e os pinos com jatos de ar. Foi aplicada uma fina camada de Silano (Angelus, Londrina, Brasil) nos pinos, que após 60 segundos foram secos com jato de ar. Nas raízes, foi aplicada uma fina camada de adesivo dentinário (Ambar - FGM, Joinville, SC, Brasil) no interior do canal radicular e, após 20 segundos, foram secos com jato de ar.

O cimento resinoso dual (Allcem Core - FGM, Joinville, SC, Brasil) foi inserido preenchendo todo o canal, no sentido ápico-cervical, de acordo com as instruções do fabricante. Após, o pino SPLENDOR-SAP foi inserido no canal também seguindo as orientações do fabricante. Após a inserção completa do pino os excessos de cimento foram removidos e foi feita uma fotopolimerização por 40 segundos com luz de Led (Kondentech, São Carlos, São Paulo-Brasil).

Para a reconstrução coronária dos espécimes, foram utilizados moldes de acetato previamente confeccionados de acordo com tamanho do espécime. Os moldes foram obtidos por meio de coroas esculpidas com cera para escultura dentária, que foram moldadas e replicadas a fim de se obter coroas para a reconstrução coronária (Figura 4). Após isso, as coroas foram adaptadas nas raízes e preenchidas com cimento resinoso (Allcem Core - FGM, Joinville, SC, Brasil).

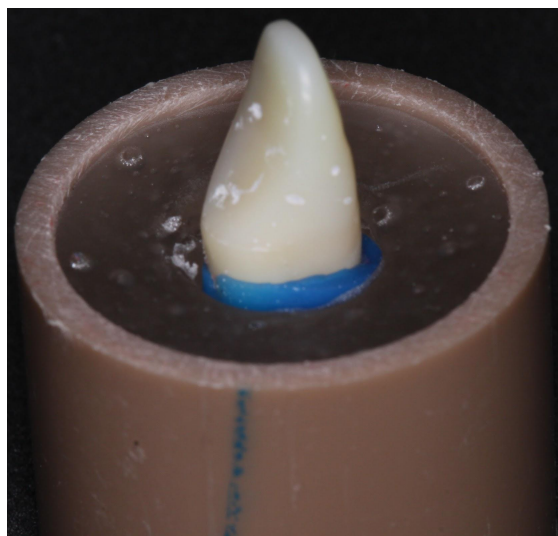
Figura 3 - Pinos de fibra de vidro utilizados



Legenda: A) Pino de fibra de vidro Exacto 3; B) Conjunto do pino de fibra de vidro Splendor-SAP; C) Conjunto do sistema Splendor-SAP separado (Pino e luva).

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 4 - Reconstrução coronária dos espécimes



Legenda: Espécime com ligamento periodontal simulado por silicone e com coroa reconstruída.
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4 Ciclagem mecânica

As amostras foram colocadas em uma cicladora termomecânica (modelo ER - 37000; Erios, São Paulo, SP Brasil) e submetidas a uma carga de 88 N com frequência de 3,8 Hz, totalizando 1200000 ciclos. O pistão de aplicação de carga com ponta esférica de 4 mm de diâmetro foi colocado na superfície lingual das coroas a 3 mm da borda incisal (Figura 5).

Figura 5 - Amostra posicionado para teste de ciclagem mecânica

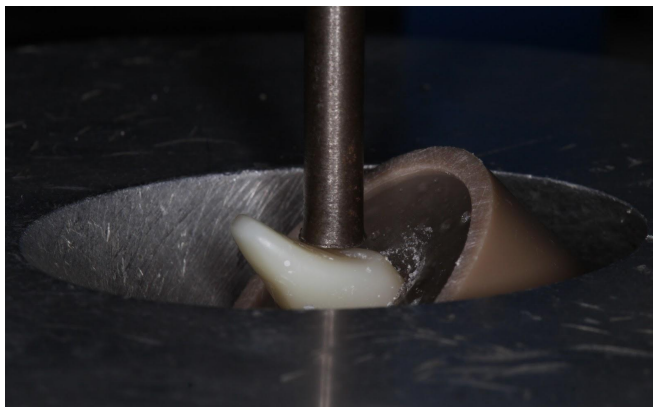


Legenda: Pistão de ponta esférica posicionado em face lingual da coroa do espécime.
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.5 Teste de resistência à compressão

As amostras foram fixadas à máquina de ensaio universal EMIC DL-2000MF (EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil) utilizando um dispositivo cilíndrico em aço inoxidável o qual possui um encaixe que permite a fixação das amostras em uma inclinação de 45° em relação a direção de aplicação da célula de carga de 100 Kg, a uma velocidade de 1 mm/min, até a fratura. Após a fratura, a máquina registrou o valor máximo de resistência e estes dados foram tabulados e os resultados submetidos à análise estatística. (Figura 6). Para obter maior eficácia e confiabilidade durante o teste, os espécimes tiveram o ligamento periodontal simulado pelo silicone removidos e foi realizada nova inclusão em resina acrílica. Tal ação foi necessária para que não houvesse a movimentação do conjunto coroa-raiz durante o teste.

Figura 6 - Espécime posicionado para teste de compressão



Legenda: Espécime posicionado a 45°, com auxílio de dispositivo cilíndrico, para aplicação da carga na máquina de ensaios universais.

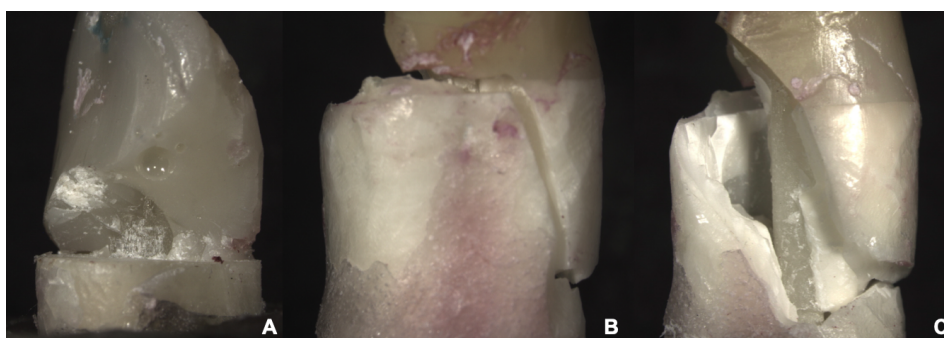
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.6 Análise microscópica

Os espécimes foram analisados em estereomicroscópio (7,5X; Discovery V20 – Zeiss, Munich, Germany) e o modo de falha foi analisado. Considerou-se como fratura do tipo I quando houve fratura/deslocamento da coroa e/ou pino acima da crista marginal (*in vitro* corresponde à fratura acima do nível ósseo simulado)

permitindo a manutenção do remanescente dentário (Figura 7A). Como fratura do tipo II, foi considerado os espécimes que apresentaram fratura no terço cervical da raiz, permitindo também a manutenção do remanescente dentário (Figura 7B). Já fraturas do tipo III, consideradas catastróficas, se demonstraram em espécimes que exibiram fraturas verticais ou oblíquas estendendo-se abaixo da crista óssea (*in vitro* corresponde à fratura abaixo do nível ósseo simulado) (Figura 7C).

Figura 7 - Análise dos modos de fratura



Legenda: A) Fratura Tipo I; B) Fratura Tipo II; C) Fratura Tipo III.

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 RESULTADO

As médias referentes à resistência mecânica conferida por reforço intrarradicular através dos ensaios de compressão estão apresentadas na Tabela 1, que apresenta valores em Kgf para tais.

Tabela 1 - Valores das médias de resistência à fratura e desvio-padrão para cada grupo

GRUPO	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
G1	9,045	2,63424847
G2	9,753	2,164537133
G3	68,411	4,854094045
G4	80,167	2,863840254
G5	70,551	4,987743879
G6	80,027	3,750789058

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio da Tabela 1, que apresenta a média e desvio-padrão para os grupos analisados.

O resultado da Análise de Variância (ANOVA) mostrou que o valor de p neste experimento apresentou diferenças significativas entre os grupos ($p < 0,05$) (Tabela 2). Após isso utilizou-se o teste de Tukey para comparações múltiplas (Tabela 3).

Tabela 2 - Resultado da Análise de Variância a dois fatores (ANOVA) para o ensaio de resistência à fratura das raízes

Graus de Liberdade Efeito	Quadrado Médio Efeito	Graus de Liberdade Erro	Quadrado Médio Erro	F	(p)
5	11632,7932 7	54	15,24709325	762,9515 39	0,000 1*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Teste de TUKEY para comparações múltiplas

GRUPOS	MÉDIAS	GRUPOS HOMOGÊNEOS*
G1	9,045	A
G2	9,753	A
G3	68,411	B
G4	80,167	C
G5	70,551	C
G6	80,027	C

*Grupos identificados com a mesma letra não apresentam diferenças significativas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 4 demonstra a porcentagem de espécimes de cada um dos grupos nos quais ocorreu um dos padrões de fratura.

Tabela 4 - Porcentagem de padrão de fratura favorável ou desfavorável em cada grupo

Padrão de fratura	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Tipo I	80%	60%	40%	60%	50%	70%
Tipo II	20%	40%	30%	30%	40%	30%
Tipo III	-	-	30%	10%	10%	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado na Tabela 4, o grupo G1 não apresentou fraturas do tipo III. A fratura mais predominante nesse grupo foi a fratura/deslocamento de coroa e/ou pino (Tipo I), seguido pela fratura do terço cervical da raiz (Tipo II) e não apresentando falhas irreparáveis (Tipo III).

O grupo G2 apresentou fratura Tipo I e Tipo II em porcentagem próximas, 60% e 40 %, respectivamente.

Já o grupo G3, que recebeu reforço intrarradicular utilizando pino de fibra de vidro Exacto, nota-se porcentagens próximas nos três tipos de fratura além de ter sido o grupo com maior porcentagem de fraturas do Tipo III (30%).

O grupo G4, também reforçado com pino Exacto, apresentou maior porcentagem de fraturas do tipo I e menor porcentagem de fraturas do tipo III.

Já no grupo G5, no qual foi utilizado o pino Splendor-SAP, observou-se fratura/deslocamento de coroa e/ou pino e fratura do terço cervical da raiz em porcentagens próximas, assim como pequena porcentagem de falhas irreparáveis (10%).

O grupo G6, que também recebeu reforço intrarradicular com Splendor-SAP, apresentou a maior porcentagem de fraturas do Tipo I de todos os grupos reforçados analisados (70%), além de ter sido o único grupo a não apresentar fraturas irreparáveis.

6 DISCUSSÃO

Raízes com grande perda de remanescente ou com condutos excessivamente alargados representam um grande problema clínico. A acentuada fragilidade de paredes dentinárias oriundas de lesões cariosas extensas, desgastes excessivos durante a terapia endodôntica ou devido a rizogênese incompleta do elemento dentário, torna essas raízes suscetíveis à fratura. Devido a isso, técnicas que visam a obtenção de um substrato dentinário mais favorável à reabilitação, assim como um possível ganho de reforço de raízes comprometidas, têm sido alvo de inúmeros estudos há décadas.

Pinos pré-fabricados e a utilização de núcleos metálicos fundidos foram utilizados amplamente para reforço de raízes com grande comprometimento. Entretanto, estudos demonstraram que a má adaptação desses pinos e o efeito cunha gerado pela utilização de núcleos metálicos fundidos podem comprometer de maneira definitiva o remanescente radicular, tornando o prognóstico do tratamento duvidoso ou em casos de reabilitação inviável. Buscando alternativas para o reforço do remanescente radicular e a promoção da manutenção do elemento dentário, estudos foram propostos para avaliar novas técnicas para o reforço de raízes comprometidas (Hornbrook, Hastings, 1995; Kimmel, 2000).

Stuart et al. demonstraram, em 2006, que a espessura da parede dentinária deve ser um dos fatores de maior relevância para que um satisfatório processo restaurador seja atingido. Nesse estudo, os pesquisadores notaram que em casos nos quais o diâmetro do canal radicular é maior que 1,5 mm o reforço radicular deve ser considerado, havendo a necessidade de novos estudos a respeito dos materiais restauradores a serem utilizados para o reforço radicular de raízes fragilizadas. Em 2021, Santos et al. avaliando a resistência à fratura de raízes bovinas fragilizadas notaram que as raízes que receberam preparo simulando uma menor quantidade de remanescente, demonstraram menores valores de resistência à fratura quando comparadas a resistiram menos do que os grupos sem fragilização.

Com isso em mente, sistemas que utilizem materiais com características físicas e mecânicas similares às da dentina são essenciais para a manutenção do elemento dentário. Além disso, o volume remanescente dentário deve ser levado em consideração.

Pinos de resina reforçados por fibras apresentam características físicas e estruturais que os fazem a principal alternativa a pinos metálicos pré-fabricados ou núcleos metálicos fundidos (Goracci et al., 2005). Devido ao seu módulo de elasticidade similar ao da dentina e sua capacidade de adesão à estrutura dentária (Cormier et al., 2001; Akkayan, Gülmez, 2002; Monticelli et al., 2003; Mitsui et al., 2004; Naumann et al., 2005), estudos *in vitro* e clínicos demonstram que o padrão de falha desses materiais é favorável, não havendo fraturas radiculares ou apenas a fratura do próprio pino utilizado (Cormier et al., 2001; Monticelli et al., 2003; Naumann et al., 2005). Além disso, a resistência à fratura assim como a distribuição de tensões que esses materiais promovem, apresentam valores satisfatórios, reforçando sua possibilidade de utilização (Cormier et al., 2001; Akkayan, Gülmez, 2002; Mitsui et al., 2004; De Andrade et al., 2020).

A utilização de dentes bovinos se mostra uma excelente opção quando situações clínicas nas quais dentes tratados endodonticamente que possuam excesso de alargamento radicular são objeto de estudo. No caso deste estudo, foram necessárias raízes com condutos amplos a fim de permitir o desgaste interno das raízes utilizando brocas com diâmetros maiores, simulando assim a fragilização dessas raízes e viabilizando a padronização da amostra.

Autores como Teruel et al. (2012) e Anido et al. (2012) sugerem a utilização de dentes bovinos para pesquisas *in vitro*. Seus estudos demonstraram resultados aceitáveis em testes de resistência adesiva e microinfiltração marginal de alguns materiais adesivos utilizados em dentes bovinos, em comparação aos dentes humanos. A resistência adesiva da dentina bovina, frente ao teste de cisalhamento, além da sua composição química próxima à da dentina humana, tornam os dentes bovinos a primeira escolha como substitutos para os dentes humanos em pesquisas *in vitro*. Além disso, dentes bovinos são utilizados quando há dificuldades na obtenção de dentes humanos devido aos problemas éticos relacionados a sua utilização.

Idealmente, retentores intrarradiculares devem ser utilizados em dentes

tratados endodonticamente uma vez que haja remanescente coronário, com o intuito de se obter o efeito férula e consequentemente diminuindo o efeito cunha (Magne et al., 2017). Estudos propõem alturas mínimas de remanescentes coronários (Libman, Nicholls, 1995, Assiri 2022). A literatura demonstra forte relação entre a resistência de dentes endodonticamente tratados com mínima quantidade de remanescente dentário e as propriedades mecânicas do material do núcleo utilizado (Raygot et al., 2001).

A fim de se aproximar o máximo possível de uma situação clínica de grande fragilidade radicular, as coroas dos dentes utilizados no presente estudo foram seccionadas abaixo do nível da junção cimento-esmalte, eliminando o remanescente coronário. Em relação ao preparo do conduto radicular para simulação de raízes fragilizadas, não há um protocolo padronizado presentes na literatura. Assim sendo, a forma de preparo utilizada neste estudo foi baseada em pesquisas anteriores que tiveram como objeto de estudo raízes fragilizadas (Carvalho et al., 2005; Hemalatha et al., 2009; Schmoldt et al., 2011; Dikbas et al., 2013; Sivieri-Araujo et al., 2015; Santos et al., 2021).

Após o preparo biomecânico do canal radicular, foi realizado um desgaste inicial com brocas Gates-Glidden no 3, 4, 5 e 6, até 12 mm de extensão. Em seguida foram utilizadas pontas diamantadas, de formato cônico arredondado, 720, nos primeiros 6 mm do canal radicular, e broca de formato cônico plano, 707G, até 12 mm no interior do canal radicular. A conicidade e o diâmetro destas brocas permitiram ampliar o terço cervical e médio do canal radicular até obter-se a espessura radicular remanescente de 2 mm e 3 mm. O preparo do conduto com 12 mm de profundidade foi adotado por corresponder a aproximadamente 3/4 do remanescente dentário e ainda permitir a manutenção de 4 mm da obturação radicular. O teste de compressão foi realizado por uma máquina de ensaios universais DL-2000MF (EMIC) semelhante à usada por De Oliveira et al. (2008), Zogheib et al. (2011) e Santos et al. (2021). A velocidade usada para a compressão foi definida em 1 mm/min baseando-se no fato de que velocidades maiores poderiam causar impacto (Katebzadeh et al., 1998) e não compressão, fraturando os dentes ao primeiro impacto. Neste contexto, optou-se pela compressão com baixa velocidade para garantir uma maior precisão no processo de avaliação da resistência. Com auxílio de um dispositivo, os espécimes foram posicionados em um

ângulo de 45º em relação ao plano horizontal, possibilitando assim que a carga de compressão fosse incidida em um ângulo de 135º com longo eixo da raiz. Esta angulação foi adotada, pois permite a simulação do contato do dente antagonista em relação oclusão de classe I.

Este estudo teve como principal interesse avaliar o efeito da utilização de dois sistemas de pinos de fibra de vidro sobre a resistência à fratura de dentes endodonticamente tratados e com fragilização radicular. Nestas condições, o grupo G4, com 3 mm de espessura radicular remanescente e reforço intrarradicular utilizando pino Exacto, foi o grupo que alcançou os maiores valores médios de resistência à fratura (80,167 kgf), seguido do grupo G6, grupo com 3 mm de espessura radicular remanescente e reforço intrarradicular utilizando Splendor-SAP, com média de 80,027 kgf. Os grupos que atingiram os menores valores médios foram o grupo G1 (espécimes com 2 mm de espessura radicular remanescente e sem reforço intrarradicular) com média de 9,045 kgf e o grupo G2 (espécimes com 3 mm de espessura radicular remanescente sem reforço intrarradicular) com média de 9,753 kgf. Tal diferença de resistência pode ser explicada pela ausência de retentores intrarradiculares nos grupos G1 e G2, quando comparados aos demais grupos, nos quais receberam pinos intrarradiculares.

Em um patamar intermediário, encontra-se o grupo G3 (68,411 kgf), o qual apresentava 2 mm de espessura radicular remanescente e reforço intrarradicular utilizando pino Exacto, e G5 (70,551 kgf), o qual possuía 2 mm de espessura radicular remanescente e reforço intrarradicular utilizando pino Exacto. Ainda é possível se observar uma diferença entre os valores médios de resistência dos grupos G3/G5 e G4/G6, o que pode ser explicada pela maior quantidade de remanescente dentinário presente nos primeiros dois grupos citados em relação aos dois outros, os quais apresentaram raízes com menor quantidade de remanescente.

Após os valores de resistência à fratura terem sido submetidos à Análise de Variância a um critério (ANOVA), foi observada diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p < 0,05$) (Tabela 2). Pelo teste de Tukey foi constatado que houve diferença estatisticamente significativa entre grupos. Os grupos sem reforço intrarradicular (G1/G2) foram semelhantes entre si e diferentes dos demais grupos com reforço intrarradicular. O grupo com 2 mm de espessura radicular remanescente e reforço intrarradicular utilizando pino Exacto (G3), não se

assemelhou a nenhum outro. Já os grupos G4/G5/G6 foram semelhantes entre si. Estes dados coincidem com a maioria dos resultados encontrados na literatura, onde grupos com maior quantidade de remanescente dentinário envolvendo um pino intrarradicular apresentaram maiores valores de resistência à fratura (Tjan, Whang, 1985; Bonilla, 2001; Marchi et al., 2003; Newman et al., 2003; Carvalho et al., 2005; De Andrade et al., 2020; Silva et al., 2021).

Analisando mais detalhadamente os valores de resistência à fratura, observou-se que, apesar de todos os esforços realizados em cada um dos processos para garantir a precisão e padronização das técnicas aplicadas, houve variabilidade dos resultados obtidos dentro de um mesmo grupo. Este fato pode ser explicado por variações inerentes à utilização de técnicas adesivas muito sensíveis, onde variações na distribuição do cimento nos condutos alargados, bem como diferenças na quantidade de micro-bolhas ou lacunas no cimento.

Os resultados obtidos permitem afirmar que o pino Splendor-SAP testado nesta pesquisa apresentou resistência suficiente para enfrentar os esforços mastigatórios, dado que a força de mordida na região anterior varia entre 17 a 27 kgf (80,027), na condição de atividade funcional normal. No que diz respeito ao sistema Exacto, também avaliado nesta pesquisa, também apresentou resistência à fratura suficiente para enfrentar esforços mastigatórios em situações habituais.

Observando os terços radiculares (cervical, médio e apical), a localização das fraturas ocorreu de forma heterogênea entre os grupos (Tabela 4). Os grupos G1 e G2 apresentaram em sua maioria fratura/deslocamento de coroa e/ou pino. Esse resultado pode-se justificar pela ausência de retentor intrarradicular nesses grupos, fazendo com que houvesse uma menor ancoragem da coroa ao remanescente dentário, além do fato da proximidade entre os módulos de elasticidade do cimento resinoso e a dentina (Boschian Pest et al., 2002).

As fraturas irreparáveis (Tipo III) foram observadas em maior porcentagem nos espécimes do G3, os quais possuíam 2 mm de espessura radicular remanescente e reforço intrarradicular utilizando pino Exacto. Além do fato de os espécimes do grupo apresentarem menor espessura de remanescente radicular, a porcentagem observada pode ser justificada pela maior linha de cimentação, decorrente do maior desgaste de dentina do grupo G3 (Corrêa et al., 2017). Um estudo de De Andrade et al. (2020), demonstrou que a linha de cimentação exerce

grande influência na dissipação de forças incididas no sentido corono-apical, levando a um maior acúmulo de tensões no terço médio da raiz, o que justifica a maior porcentagem de fraturas do tipo III observadas neste grupo. Outros trabalhos presentes na literatura como os de Borges et al. (2021) e Tribst et al. (2021) avaliaram a concentração de estresse de dentes tratados endodonticamente restaurados com sistemas de pinos de fibra de vidro quando submetidos a forças axiais. Esses trabalhos demonstraram, por meio de análise de elementos finitos utilizando modelos 3D, uma maior concentração de forças em terço cervical e médio quanto maior foi a linha de cimentação observada.

Ainda considerando-se o tipo das fraturas, os grupos G4, G5 e G6 apresentaram em sua maioria fraturas reparáveis (tipo I e tipo II), o que se deve a relação entre a transmissão de forças no remanescente e o material utilizado. A ocorrência de fraturas mais profundas foi maior nos grupos fragilizados, caracterizando-os com consequente pior prognóstico restaurador. Este resultado corrobora com os resultados de Zogheib et al. (2008), Zogheib et al. (2011), Silva et al. (2020) e Oliveira et al. (2022) encontrados na literatura. Os adequados valores de resistência e o padrão de fratura favorável dos grupos G4, G5 e G6 demonstram que as técnicas aplicadas apresentam-se como alternativas restauradoras viáveis de tratamento tanto para casos de condutos excessivamente alargados; mantendo sua maior viabilidade na manutenção do elemento dentário e evitando sua exodontia precoce.

No entanto, os resultados apresentados neste estudo devem ser cuidadosamente interpretados uma vez que o controle sobre todas as técnicas utilizadas é mais fácil em laboratório, além de ser mais preciso quando comparado às condições intraorais. Condições como umidade, hábitos parafuncionais e variações na quantidade de remanescente coronário podem afetar a integridade dos resultados a longo prazo. Dessa forma, são necessários estudos de acompanhamento clínico longitudinal confirmando a viabilidade das técnicas e materiais utilizados neste estudo como forma de reforço a raízes com condutos alargados de maneira excessiva.

7 CONCLUSÃO

Frente às proposições apresentadas, com base nos resultados obtidos e após a análise estatística, levando em consideração os limites de um teste laboratorial, pôde-se concluir que:

- Os dentes fragilizados que não receberam nenhum tipo de reforço intrarradicular apresentaram menor resistência à fratura;
- A utilização de reforço intrarradiculares: pino Exacto e Splendor-SAP, aumentou significativamente a resistência à fratura de dentes com fragilização radicular;
- O pino Splendor-SAP apresentou resultados melhores aos do pino Exacto quando utilizados para o reforço de raízes com com 2 mm de remanescente;
- Os dentes reconstruídos com pinos de fibras de vidro, independente da técnica aplicada, apresentam padrão de fratura variado, entretanto nunca ultrapassando 30% de fraturas desfavoráveis à manutenção do elemento.

REFERÊNCIAS

Akkayan B, Gülmez T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent*. 2002 Apr;87(4):431-7. doi: 10.1067/mpr.2002.123227. PMID: 12011860.

Al-Omiri MK, Mahmoud AA, Rayyan MR, Abu-Hammad O. Fracture resistance of teeth restored with post-retained restorations: an overview. *J Endod*. 2010 Sep;36(9):1439-49. doi: 10.1016/j.joen.2010.06.005. PMID: 20728706.

Andreasen FM, Andreasen JO, Bayer T. Prognosis of root-fractured permanent incisors--prediction of healing modalities. *Endod Dent Traumatol*. 1989 Feb;5(1):11-22. doi: 10.1111/j.1600-9657.1989.tb00331.x. PMID: 2598879.

Anido AA, Goncalves SEP, Padilha RQ. Human and bovine dentin. Shear bond strength on three different thickness. *J Dent Res*. 2002;81:B116.

Assiri AYK, Saafi J, Al-Moaleem MM, Mehta V. Ferrule effect and its importance in restorative dentistry: A literature Review. *J Popul Ther Clin Pharmacol*. 2022 Nov 21;29(4):e69-e82. doi: 10.47750/jptcp.2022.977. PMID: 36414571.

Barfeie A, Thomas MB, Watts A, Rees J. Failure mechanisms of fibre posts: a literature review. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2015;23(3):P115-P127.

Barjau-Escribano A, Sancho-Bru JL, Forner-Navarro L, Rodríguez-Cervantes PJ, Pérez-González A, Sánchez-Martín FT. Influence of prefabricated post material on restored teeth: fracture strength and stress distribution. *Oper Dent*. 2006 Jan-Feb;31(1):47-54.doi:10.2341/04-169.

Bonilla MEG. Avaliação da resistência à fratura transversal de raízes amplamente destruídas reconstruídas com núcleos [dissertação]. Bauru (SP): Universidade de São Paulo (USP), Faculdade de Odontologia de Bauru; 2001.

Borges ALS, Grangeiro MTV, de Andrade GS, de Melo RM, Baroudi K, Silva-Concilio LR, et al. Stress concentration of endodontically treated molars restored with transfixated glass fiber post: 3D-Finite element analysis. *Materials (Basel)*. 2021 Jul 29;14(15):4249. doi: 10.3390/ma14154249. PMID: 34361443; PMCID: PMC8347937.

Boschian Pest L, Cavalli G, Bertani P, Gagliani M. Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. *Dent Mater*. 2002 Dec;18(8):596-602. doi: 10.1016/s0109-5641(02)00003-9. PMID: 12385901.

Carvalho CAT, Valera MC, Oliveira LD, Camargo CHR. Structural resistance in immature teeth using root reinforcements in vitro. *Dent Traumatol*. 2005 Jun;21: 155–9. doi:10.1111/j.1600-9657.2005.00312.x.

Cecchin D, Farina AP, Guerreiro CA, Carlini-Júnior B. Fracture resistance of roots prosthetically restored with intra-radicular posts of different lengths. *J Oral Rehabil*. 2010 Feb;37(2):116-22. doi: 10.1111/j.1365-2842.2009.02028.x.

Chirila M, Dimitriu B, Bartok RI, Amza O, Serban AM, Suci I. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with resin post reinforced with glass fiber. *J Med Life*. 2021 Jan-Mar;14(1):81-85. doi: 10.25122/jml-2020-0180. PMID: 33767790; PMCID: PMC7982254.

Coelho CS, Biffi JC, Silva GR, Abrahão A, Campos RE, Soares CJ. Finite element analysis of weakened roots restored with composite resin and posts. *Dent Mater J*. 2009 Nov;28(6):671-8. PubMed PMID: 20019417.

Cormier CJ, Burns DR, Moon P. In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic and conventional post systems at various stages of restoration. *J Prosthodont*. 2001 Mar;10(1):26-36. PubMed PMID: 11406793.

Corrêa G, Brondani LP, Wandscher VF, Pereira GKR, Valandro LF, Bergoli CD. 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*. 2018;26:e20170313. doi: 10.1590/1678-7757-2017-0313. Epub 2018 May 7. PMID: 29742252; PMCID: PMC5933830.

Cvek M. Prognosis of luxated non-vital maxillary incisors treated with calcium hydroxide and filled with gutta-percha. A retrospective clinical study. *Endod Dent Traumatol*. 1992 Apr;8(2):45-55. doi: 10.1111/j.1600-9657.1992.tb00228.x. PMID: 1521505.

Danwittayakorn S, Banomyong D, Ongchavalit L, Ngoenwiwatkul Y, Porkaew P. Comparison of the effects of intraradicular materials on the incidence of fatal root fracture in immature teeth treated with mineral trioxide aggregate apexification: a retrospective study. *J Endod*. 2019 Aug;45(8):977-984.e1. doi: 10.1016/j.joen.2019.05.008. Epub 2019 Jun 24. PMID: 31248698.

De Andrade GS, Tribst JPM, Orozco EI, Augusto MG, Bottino MA, Borges AL, et al. Influence of different post-endodontic restorations on the fatigue survival and biomechanical behavior of central incisors. *Am J Dent*. 2020 Oct;33(5):227-234. PMID: 33017523.

Dikbas I, Tanalp J, Koksall T, Yalnız A, Güngör T. Investigation of the effect of different prefabricated intracanal posts on fracture resistance of simulated immature teeth. *Dent Traumatol*. 2014 Feb;30(1):49-54. doi: 10.1111/edt.12034.

Dutra-Correa M, Anauate-Netto C, Arana-Chavez VE. Density and diameter of dentinal tubules in etched and non-etched bovine dentine examined by scanning electron microscopy. *Arch Oral Biol*. 2007 Sep;52(9):850-5. doi: 10.1016/j.archoralbio.2007.03.003.

Fokkinga WA, Le Bell AM, Kreulen CM, Lassila LV, Vallittu PK, Creugers NH. Ex vivo fracture resistance of direct resin composite complete crowns with and without posts on maxillary premolars. *Int Endod J*. 2005 Apr;38(4):230-7. doi: 10.1111/j.1365-2591.2005.00941.x. PMID: 15810973.

Gbadebo OS, Ajayi DM, Oyekunle OO, Shaba PO. Randomized clinical study comparing metallic and glass fiber post in restoration of endodontically treated teeth. *Indian J Dent Res*. 2014 Jan-Feb;25(1):58-63. doi: 10.4103/0970-9290.131126. PMID: 24748301.

Goracci C, Raffaelli O, Monticelli F, Balleri B, Bertelli E, Ferrari M. The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. *Dent Mater*. 2005 May;21(5):437-44. doi: 10.1016/j.dental.2004.07.012.

Hemalatha H, Sandeep M, Kulkarni S, Yakub SS. Evaluation of fracture resistance in simulated immature teeth using Resilon and Ribbond as root reinforcements - an in vitro study. *Dent Traumatol*. 2009 Aug;25(4):433-8. doi: 10.1111/j.1600-9657.2009.00804.x.

Hornbrook DS, Hastings JH. Use of bondable reinforcement fiber for post and core build-up in endodontically treated tooth: maximizing strength and aesthetics. *Pract Periodontics Aesthet Dent*. 1995 Jun-Jul;7(5):33-42; quiz 44. PubMed PMID: 7548893.

Jurema ALB, Filgueiras AT, Santos KA, Bresciani E, Caneppele TMF. Effect of intraradicular fiber post on the fracture resistance of endodontically treated and restored anterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent*. 2022 Jul;128(1):13-24. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.12.013. Epub 2021 Feb 3. PMID: 33546858.

Lazari PC, de Carvalho MA, Del Bel Cury AA, Magne P. Survival of extensively damaged endodontically treated incisors restored with different types of posts-and-core foundation restoration material. *J Prosthet Dent*. 2018 May;119(5):769-76. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.05.012. Epub 2017 Sep 18. PMID: 28923548.

Li MHM, Bernabé E. Tooth wear and quality of life among adults in the United Kingdom. *J Dent*. 2016 Dec;55:48-53. doi: 10.1016/j.jdent.2016.09.013. Epub 2016 Sep 28. PMID: 27693780.

Libman WJ, Nicholls JI. Load fatigue of teeth restored with cast posts and cores and complete crowns. *Int J Prosthodont*. 1995 Mar-Apr;8(2):155-61. PubMed PMID: 7575967.

Kakehashi Y, Lüthy H, Naef R, Wohlwend A, Schärer P. A new all-ceramic post and cores system: clinical, technical, and in vitro results. *Int J Periodont Restorative Dent*. 1998 Dec;18(6):587-93. PubMed PMID:10321173.

Kimmel SS. Restoration of endodontically treated tooth containing wide or flared canal. *N Y St Dent J*. 2000 Dec;66(10):36-40. PubMed PMID: 11199524.

Kimmel SS. Restoration and reinforcement of endodontically treated with a polyethylene ribbon and prefabricated fiberglass post. *Gen Dent*. 2000 Nov/Dec;48(6):700-6. PubMed PMID: 12004666.

Magne P, Lazari PC, Carvalho MA, Johnson T, Del Bel Cury AA. Ferrule-effect dominates over use of a fiber post when restoring endodontically treated incisors: an in vitro study. *Oper Dent*. 2017 Jul/Aug;42(4):396-406. doi: 10.2341/16-243-L. Epub 2017 Apr 12. PMID: 28402738.

Marchi GM, Paulillo LA, Pimenta LA, De Lima FA. Effect of different filling material in combination with intraradicular posts on the resistance to fracture of weakened roots. *J Oral Rehabil*. 2003 Jun;30(6):623-9. PubMed PMID: 12787460.

Mitsui FHO, Marchi GM, Pimenta LA, Ferraresi PM. In vitro study of fracture resistance of bovine roots using different intraradicular post systems. *Quintessence Int*. 2004 Sept; 35(8):612-6. PubMed PMID: 15366523.

Mohammadi N, Kahnamoii MA, Yeganeh PK, Navimipour EJ. Effect of fiber post and cusp coverage on fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars directly restored with composite resin. *J Endod*. 2009 Oct;35(10):1428-32. doi: 10.1016/j.joen.2009.07.010. Epub 2009 Aug 28. PMID: 19801245.

Monticelli F, Grandini S, Goracci C, Ferrari M. Clinical behavior of translucent-fiber posts: a 2-year prospective study. *In J Prosthodont*. 2003 Nov-Dec;16(6):593-6. PubMed PMID: 14714836.

Naumann M, Blankenstein F, Dietrich T. Survival of glass fiber reinforce composite post restorations after 2 years – an observational clinical study. *J Dent*. 2005 Apr;33(4):305-12. doi:10.1016/j.jdent.2004.09.005.

Oliveira GR, Machry RV, Cadore-Rodrigues AC, Sarkis-Onofre R, Valandro LF, Bacchi A, et al. Fatigue properties of weakened and non-weakened roots restored with CAD-CAM milled fiber post, prefabricated fiber post, or cast metal post. *Oper Dent*. 2022 Nov 1;47(6):658-69. doi: 10.2341/21-032-L. PMID: 36251571.

Penelas AG, Piedade VM, Borges AC, Poskus LT, da Silva EM, Guimarães JG. Can cement film thickness influence bond strength and fracture resistance of fiber reinforced composite posts? *Clin Oral Investig*. 2016 May;20(4):849-55. doi: 10.1007/s00784-015-1568-3.

Peroz I, Blankenstein F, Lange KP, Naumann M. Restoring endodontically treated teeth with posts and cores--a review. *Quintessence Int*. 2005 Oct;36(9):737-46. PMID: 16163877.

Pitel ML, Hicks NL. Evolving technology in endodontic posts. *Comp Continuing Educ Dent*. 2003 Jan;24(1):13-6, 18, 20 passim; quiz 29. PMID:12619257

Raygot CG, Chai J, Jameson L. Fracture resistance and primary failure mode of endodontically treated teeth restored with a carbon fiber-reinforced resin post system in vitro. *Int J Prosthodont*. 2001 Mar-Apr;14(2):141-5. PubMed PMID: 11843450.

Saleh F, Taymour N. Validity of using bovine teeth as a substitute for human counterparts in adhesive tests. *East Mediterr Health J*. 2003 Jan-Mar;9(1-2):201-7. PMID: 15562752.

Santos TDSA, Abu Hasna A, Abreu RT, Tribst JPM, de Andrade GS, Borges ALS, et al. Fracture resistance and stress distribution of weakened teeth reinforced with a bundled glass fiber-reinforced resin post. *Clin Oral Investig*. 2022 Feb;26(2):1725-35. doi: 10.1007/s00784-021-04148-4. Epub 2021 Aug 25. PMID: 34435252.

Schmoldt SJ, Kirkpatrick TC, Rutledge RE, Yaccino JM. Reinforcement of simulated immature roots restored with composite resin, mineral trioxide aggregate, gutta-percha, or a fiber post after thermocycling. *J Endod*. 2011 Oct;37(10):1390-3. doi: 10.1016/j.joen.2011.07.001. Epub 2011 Aug 19

Schwartz RS, Robbins JW. Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review. *J Endod*. 2004 May;30(5):289-301. doi: 10.1097/00004770-200405000-00001. PMID: 15107639.

Sedgley CM, Messer HH. Are endodontically treated teeth more brittle? *J Endod*. 1992 Jul;18(7):332-5. doi: 10.1016/S0099-2399(06)80483-8. PMID: 1402595.

Sivieri-Araujo G, Tanomaru-Filho M, Guerreiro-Tanomaru JM, Bortoluzzi EA, Jorge ÉG, Reis JM. Fracture resistance of simulated immature teeth after different intra-radicular treatments. *Braz Dent J*. 2015 May-Jun;26(3):211-5. doi: 10.1590/0103-6440201300186.

Stewardson DA. Non-metal post systems. *Dent Update*. 2001 Sep;28(7):326-32, 334, 336.

Stuart CH, Schwartz SA, Beeson TJ. Reinforcement of immature roots with a new resin filling material. *J Endod*. 2006 Apr;32(4):350-3. doi: 10.1016/j.joen.2005.08.001

Tanaka JLO, Medici FE, Salgado JAP, Salgado MAC, Moraes LC, Moraes MEL, et al. Comparative analysis of human and bovine teeth: radiographic density. *Braz Oral Res*. 2008 Dec;22(4):346-51.

Teruel Jde D, Alcolea A, Hernández A, Ruiz AJ. Comparison of chemical composition of enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. *Arch Oral Biol*. 2015 May;60(5):768-75. doi: 10.1016/j.archoralbio.2015.01.014.

Tjan AH, Whang SB. Resistance to root fracture of dowel channels with various thicknesses of buccal dentin walls. *J Prosthet Dent*. 1985 Apr;53(4):496-500. PubMed PMID: 3889282.

Torres-Sánchez C, Montoya-Salazar V, Córdoba P. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with glass fiber reinforced posts and cast gold post and cores cemented with three cements. *J Prosthet Dent*. 2013;110(2):127-133. doi:10.1016/S0022-3913(13)60352-2.

Tribst JPM, Borges ALS, Silva-Concílio LR, Bottino MA, Özcan M. Effect of restorative material on mechanical response of provisional endocrowns: A 3D-FEA study. *Materials (Basel)*. 2021 Jan 31;14(3):649. doi: 10.3390/ma14030649. PMID: 33572533; PMCID: PMC7866804.

Xible AA, Tavares RR, Araujo Cdos R, Conti PC, Bonachella WC. Effect of cyclic loading on fracture strength of endodontically treated teeth retored with conventional and esthetic posts. *J Appl Oral Sci*. 2006 Aug;14(4):297-303. PubMed PMID: 19089280

Wang HW, Chang YH, Lin CL. Mechanical resistance evaluation of a novel anatomical short glass fiber reinforced post in artificial endodontically treated premolar under rotational/lateral fracture fatigue testing. *Dent Mater J*. 2016;35(2):233-40. doi: 10.4012/dmj.2015-199. PMID: 27041013.

Wang X, Shu X, Zhang Y, Yang B, Jian Y, Zhao K. Evaluation of fiber posts vs metal posts for restoring severely damaged endodontically treated teeth: a systematic review and meta-analysis. *Quintessence Int*. 2019;50(1):8-20. doi: 10.3290/j.qi.a41499. PMID: 30600326.

Yamamoto M, Miura H, Okada D, Komada W, Masuoka D. Photoelastic stress analysis of different post and core restoration methods. *Dent Mater J*. 2009 Mar; 28(2):204-11. PubMed PMID:19496401.

Zogheib LV, Pereira JR, do Valle AL, de Oliveira JA, Pegoraro LF. Fracture resistance of weakened roots restored with composite resin and glass fiber post. *Braz Dent J*. 2008;19(4):329-33. PubMed PMID: 19180323.

Zogheib LV, Saavedra G de S, Cardoso PE, Valera MC, Araújo MA. Resistance to compression of weakened roots subjected to different root reconstruction protocols. *J Appl Oral Sci*. 2011 Nov-Dec;19(6):648-54. doi: 10.1016/j.tripleo.2008.06.015. PubMed PMID: 18718775.