JOSE EDGAR VALDIVIA CARDENAS

**Análise da resistência e comportamento da fratura de pinos/núcleos
customizados por CAD/CAM em dentes tratados
endodonticamente com raízes fragilizadas**

São Paulo

2020

JOSE EDGAR VALDIVIA CARDENAS

**Análise da resistência e comportamento da fratura de pinos/núcleos
customizados por CAD/CAM em dentes tratados
endodonticamente com raízes fragilizadas**

Versão corrigida

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia para obter o título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Endodontia

Orientador: Prof. Dr. Manoel Eduardo de Lima Machado

São Paulo

2020

Catálogo da Publicação
Serviço de Documentação Odontológica
Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Cardenas, Jose Edgar Valdivia.

Análise da resistência e comportamento da fratura de pinos/núcleos customizados por CAD/CAM em dentes tratados endodonticamente com raízes fragilizadas / Jose Edgar Valdivia Cardenas; orientador Manoel Eduardo de Lima Machado. -- São Paulo, 2020.

95 p. : fig.; 30 cm.

Tese (Doutorado) -- Programa de Pós-Graduação em Odontologia. Área de concentração: Endodontia. -- Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo.

Versão corrigida.

1. Pinos dentários. 2. Desenho assistido por computador. 3. Resistência à fratura. 4. Raiz dentária. 5. Endodontia. I. Machado, Manoel Eduardo de Lima. II. Título.

Cardenas JEV. Análise da resistência e comportamento da fratura de pinos/núcleos customizados por CAD/CAM em dentes tratados endodonticamente com raízes fragilizadas. Tese apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Aprovado em: 08 / 12 / 2020

Banca Examinadora

Profa. Dra. Maria Ângela Pita Sobral

Instituição: FO-USP

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Rodrigo Reis

Instituição: FO-PUC RJ

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Cleber Keiti Nabeshima

Instituição: FO-UNICSUL

Julgamento: Aprovado

Aos meus queridos pais, José Edgardo Martín Valdivia Nuñez e Bertha Cárdenas de Vizcarra pelo amor incondicional e credibilidade em todos os momentos da minha vida. Por nunca medir esforços para que eu realize todos os meus sonhos e por me proporcionarem uma formação pessoal que foi o alicerce para essa esta vitória. Obrigada por tudo e amo vcs!

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao meu orientador Manoel Eduardo de Lima Machado por guiar minha vida acadêmica, pela credibilidade, paciência, dedicação, conhecimento e aprendizado constante que adquiri com o senhor. Por me ensinar a ser especialista, mestre e me dar a oportunidade de ser professor assistente em seus cursos. Obrigado por tornar o meu caminho possível!

Ao meu co-orientador professor Hair Salas Beltrán, por guiar meus primeiros passos na Endodontia, conseguiu despertar em mim o grande interesse pela especialidade e que um mestre, acima de tudo, deve aprender a ser humano.

Ao professor Victor Arana, por abrir as portas do laboratório de Biologia Oral da FO USP, pela credibilidade em minhas pesquisas, amizade compatriota, horas no MEV. Obrigado por tudo!

Ao Cleber K. Nabeshima pela amizade, sábios conselhos e pelo apoio em minha vida acadêmica, na escrita de artigos e pelos trabalhos que realizamos juntos e realizaremos no futuro.

À minha família, e especialmente às minhas irmãs, Cláudia, Carla e Carol, por sempre acreditarem em mim! Vocês sempre foram meus exemplos de guerra e coragem. Amo muito vocês!

À minha noiva, Amanda de Bona, pelo amor, carinho, paciência em me ouvir e estar ao meu lado. Pela força e persistência nos momentos distantes que vivemos apesar de estar juntos de coração. Você é muito importante na minha vida! Te amo muito!

À Universidade de São Paulo pelas oportunidades que possibilitaram meu desenvolvimento intelectual e profissional e a todos os professores do departamento. Especialmente aos professores do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade de São Paulo (FO USP), Prof. Drs. Giulio Gavini, Luciana Francisconi, Carla Sipert, Ericka Pinheiro e Celso Caldeira pela dedicação,

profissionalismo e por transmitir seus conhecimentos de maneira tão precisa e clara. Obrigado!

Aos amigos do Laboratório de Pesquisa de Dentística e da LBO da FO USP, particularmente Elis, pelo convívio agradável e momentos de trabalho, aprendizado e descontração. Muito sucesso à vocês!

Aos amigos do Laboratório do Biofotônica do IPEN, particularmente Daísa e professora Zezell, pelo convívio agradável e momentos de trabalho e aprendizado.

Aos amigos do Laboratório de Imagenologia e Próteses 3D, particularmente ao professor Rodolpho Guimarães, pelo aprendizado e por permitir o uso dos softwares e aparelhos específicos do CAD/CAM. Gratidão!

Aos meus colegas de pós-graduação, Priscilla, Yeska, Laura, Lais Prado, Iandara, Giovana, Marco, Alexandre, obrigado pela companhia e bons momentos na pós-graduação.

Aos meus amigos latinos aqui no Brasil, Marco, Kathy, Brigitte, em especial aos meus grandes amigos Kraul e Bernal, pela grande amizade. Obrigada pela parceria!

À FGM pelo apoio constante em minhas pesquisas fornecendo todo o material para as etapas da pesquisa, especialmente à Ana Paula por acreditar e apoiar meus projetos, Obrigada!

Ao CNPq pela bolsa de doutorado concedida pelo departamento.

Aos funcionários do departamento FO USP, Aldo, Selma, David, Carlos e Leandro pelo apoio e disponibilidade. Glauci da biblioteca pela receptividade e calma na revisão deste trabalho.

Aos meus amigos, cada um de alguma forma contribuíram para que meu esforço e dedicação se transformassem em sucesso. Faço questão de dividir essa vitória com cada um de vocês!

"Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis".

Bertolt Brecht

RESUMO

Cardenas JEV. Análise da resistência e comportamento da fratura de pinos/núcleos customizados por CAD/CAM em dentes tratados endodonticamente com raízes fragilizadas [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2020. Versão Corrigida.

A restauração de dentes tratados endodonticamente com severa perda de estrutura dentinária tem sido objeto de estudos que buscam identificar meios de tornar o complexo restaurador mais resistente às cargas mastigatórias com impactos negativos mínimos à estrutura radicular remanescente. Portanto, o presente trabalho objetivou comparar a resistência e o comportamento da fratura de pinos/núcleos customizados confeccionados a partir de sistemas assistidos por computador (CAD/CAM) em canais radiculares fragilizados. Pré-molares unirradiculares humanos foram selecionados, instrumentados e obturados. Em seguida, foi realizada a fragilização radicular e os espécimes aleatoriamente divididos em quatro grupos (n=10) de acordo com o tipo de material usado para a confecção do pino/núcleo: Grupo (PBE) pino/núcleo fresado a partir de bloco experimental; Grupo (PFC) pino/núcleo de fibra de vidro fresado em bloco de fibra de vidro (FiberCad, Angelus); Grupo (PFA) pino de fibra de vidro pré-fabricado anatomizado e núcleo coronário em resina composta e Grupo (PMF) pino/núcleo fresado em disco de liga metálica de Co-Cr (Kera Disc, Kera NH). Todos os pinos/núcleos foram condicionados e cimentados com cimento resinoso autocondicionante. Os corpos de prova foram submetidos a termociclagem e os espécimes foram carregados numa máquina de ensaio universal à 0,5 mm/min sob um ângulo de 45° em relação ao eixo longitudinal do dente, onde foram submetidos à compressão até que ocorre sua fratura. Na sequência, o padrão de fratura foi avaliado em estereomicroscópio. Os valores de resistência à fratura (N) assim obtidos foram analisados estatisticamente mediante o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e teste de t de student para comparar a resistência à fratura entre os grupos. Os resultados de resistência à fratura dos grupos PBE e PMF foram semelhantes entre si ($P > 0.05$) e significativamente maiores que dos grupos PFC e PFA ($P < 0.05$). A menor resistência foi observada no grupo PFA. Com relação à localização das fraturas, foi

observado nos grupos PBE, PFC e PFA um padrão de fratura semelhante, que foi predominantemente no pino/munhão coronário e terços cervicais do canal radicular, enquanto que no grupo PMF, o padrão de fratura foi nos terços médio e apical do remanescente radicular. No que se refere à análise da possibilidade restauradora, os grupos PBE, PFC e PFA exibiram padrão de fraturas mais favoráveis quando comparados com o grupo PMF, onde foram encontradas fraturas radiculares desfavoráveis em 100% dos espécimes. Com base nos resultados, pode-se concluir que pinos/núcleos fresados a partir do bloco experimental apresentaram valores de resistência à fratura semelhante à dos pinos/núcleos metálicos e maiores que os pinos/núcleos em fibra de vidro em canais fragilizados, apresentando um padrão de fratura e prognóstico restaurador favorável e passível de reabilitação.

Palavras-chave: Pinos intrarradiculares customizados. Sistemas assistidos por computador (CAD/CAM). Resistência à fratura. Comportamento da fratura. Raízes fragilizadas. Endodontia.

ABSTRACT

Cardenas JEV. Analysis of resistance and fracture behavior of post and core customized by CAD/CAM in endodontically treated teeth with flared root canals. [thesis] São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia; 2020. Versão Corrigida.

The restoration of endodontically treated teeth with severe loss of root structure has been the subject of studies that seek to identify ways to make the restorative complex more resistant to masticatory loads and that may have minimal negative impacts on the remaining root structure. Therefore, this study aimed to compare the resistance and behavior of fractures of post and core customized made from computer-aided systems (CAD/CAM) in flared root canals. Human uniradicular premolars were selected, instrumented and filled. The post space preparation was weakened and the specimens were randomly divided into four groups (n=10) according to the type of material used for making the post & core: Group (PBE) post/core milled from experimental block; Group (PFC) fiberglass post/core milled in fiberglass block (FiberCad, Angelus); Group (PFA) prefabricated fiberglass post anatomized and coronary core in composite resin and Group (PMF) post/core milled in Co-Cr alloy metal disc (Kera Disc, Kera NH). All posts/cores were cemented with self-etching resin cement. The specimens were subjected to termocycling and the specimens were loaded on a universal testing machine at 0.5 mm/min at an angle of 45° in relation to the longitudinal axis of the tooth, where they were subjected to compression until their fracture occurs. Subsequently, the fracture pattern was assessed using a stereomicroscope. The fracture resistance values (N) thus obtained were analyzed statistically using the Shapiro-Wilk normality test and t-test to compare between groups. The results of fracture resistance in the PBE and PMF groups were similar ($P > 0.05$) and significantly higher than in the PFC and PFA groups ($P < 0.05$). Less resistance was observed in the PFA group. With regard to the fracture pattern, the PBE, PFC and PFA groups exhibited more favorable fracture patterns when compared to the PMF group; where unfavorable root fractures were found in 100% of the specimens. Regarding the location of the fractures, a similar fracture pattern was observed in the PBE, PFC and PFA groups, which was predominantly in the coronary

post/core and cervical thirds of the root canal, and in the PMF group it was in the middle and apical thirds of the root canal. Based on the results, it can be concluded that posts and cores milled from the experimental block presented values of fracture resistance similar to those of metallic post/core and higher than those of fiberglass post/core in flared root canals, presenting a pattern fracture and favorable restorative prognosis that could be rehabilitated.

Keywords: Custom-made post and core. Computer-aided design & computer-aided manufacturing (CAD/CAM). Fracture resistance. Fracture behavior. Flared root canals. Endodontics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.1 - Fotografias do o protocolo da inclusão das raízes em resina acrílica (A) Espécime centralizado no tubo de PVC. (B-C) Inclusão e preenchimento com resina acrílica.....	50
Figura 4.2 - (A). Espécime centralizado no tubo de PVC (B). Inserção da raiz após preenchimento com silicone fluído do espaço referente ao ligamento periodontal (C). Manutenção de 3,0 mm cervicais referente às distâncias biológicas.....	51
Figura 4.3 - (A). Fragilização dos espécimes com uma broca diamantada 4137 (B). Raiz fragilizada (C). Aferição das paredes remanescentes do terço cervical (1,0 mm de parede dentinária remanescente) com paquímetro.	53
Figura 4.4 - Determinação das espessuras radiculares (A). Corte tomográfico axial (B). No corte tomográfico coronal foi realizada a medição da espessuras radiculares nos terços cervical (1,0 mm) e apical (2,5 mm) do espaço para retentor intrarradicular.	53
Figura 4.5 - (A). Padrão em resina acrílica (molde do espaço para retentor intrarradicular) (B). Escaneamento do padrão de resina acrílica (Scanner S600 ARTI Zirkonzahn) (C). Obtenção do modelo virtual no Zirkonzahn CAD software.....	55
Figura 4.6 - (A). Bloco experimental (B). Bloco após fresagem (C). Obtenção do pino fresado em CAD/CAM.	56
Figura 4.7 - (A). Bloco FiberCad (B). Pino de fibra de vidro fresado em CAD/CAM..	57
Figura 4.8 - (A). Pino de fibra de vidro WhitePost DC (B). Resina composta Vittra APS (C). Obtenção do pino anatomizado.....	58
Figura 4.9 - (A). Disco de Cobalto Cromo (CoCr) para CAD/CAM (B). Obtenção do pino metálico.....	59
Figura 4.10 - Critério para classificação das fraturas em quanto a localização..	62

Figura 4.11 - Critério para classificação das fraturas em quanto a possibilidade de reabilitação após fratura radicular.63

Figura 5.1 - Boxplots para resistência à fratura dos grupos estudados.....66

Figura 5.2 - Gráfico de porcentagem dos espécimes quanto a possibilidade de reabilitação após fratura para cada grupo estudado, sendo favorável (F) ou desfavorável (D)68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BS	resistência de união
BIS-GMA	bisfenol glicidil metacrilato
CAD/CAM	desenho assistido por computador/fabricação assistida por computador
Co-Cr	cromo-cobalto
CRT	comprimento real de trabalho
Cm ²	centímetro quadrado
DP	desvio padrão
EDTA	ácido etilenodiaminotetracético
FR	resistência à fratura
GPA	giga Pascal
ISO	International Standard Organization
MPA	mega pascal
Min	minutos
Mm	milímetro
MEV	microscopia eletrônica de varredura
Mm/min	milímetro por minuto
N	newton
Ni-Cr	níquel-cromo
NMF	núcleo metálico fundido
NaOCL	hipoclorito de sódio
NÚCLEO	extensão coronária do pino
P	nível de significância, probabilidade
PEEK	polieteretercetona
PINO	retenção intrarradicular
PFV	pino de fibra de vidro
PVA	policloreto de vinila
KGF	kilograma-força
RPM	rotações por minuto
US	ultrassônico
W/CM ²	watts/centímetro quadrado

WP	whitePost (FGM)
WO	wave One (Denstsply Sirora)

LISTA DE SÍMBOLOS

%	por cento
°C	graus celsius
>	maior
<	menor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	REVISÃO DE LITERATURA	27
2.1	UTILIZAÇÃO DE PINOS/NÚCLEOS EM CANAIS FRAGILIZADOS	27
2.2	MATERIAIS FRESADOS EM CAM/CAM USADOS PARA A CONFEÇÃO DE RETENTORES INTRARRADICULARES	40
3	PROPOSIÇÃO	47
3.1	OBJETIVO GERAL	47
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	47
4	MATERIAL E MÉTODOS	49
4.1	SELEÇÃO E PADRONIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	49
4.2	INCLUSÃO DOS ESPÉCIMES	50
4.3	TRATAMENTO ENDODÔNTICO	51
4.4	OBTURAÇÃO DO TERÇO APICAL DO CANAL RADICULAR	52
4.5	FRAGILIZAÇÃO DOS ESPÉCIMES	52
4.6	DIVISÃO DOS GRUPOS EXPERIMENTAIS	54
4.6.1	OBTENÇÃO E ESCANEAMENTO DO PADRÃO DE RESINA ACRÍLICA DOS ESPÉCIMES	54
4.6.2	CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA O GRUPO PBE	55
4.6.3	CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA O GRUPO PFC	56
4.6.4	CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA O GRUPO PFA	57
4.6.5	CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA O GRUPO PMF	58
4.7	CONDICIONAMENTO DOS PINOS/NÚCLEOS INTRARRADICULARES	59
4.8	CIMENTAÇÃO DOS PINOS/NÚCLEOS INTRARRADICULARES	60
4.9	TERMOCICLAGEM	60
4.10	ENSAIO MECÂNICO	61
4.11	ANÁLISE FRACTOGRÁFICA	61
4.12	FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS	63
5	RESULTADOS	65
6	DISCUSSÃO	69
7	CONCLUSÕES	78
	REFERÊNCIAS	79
	APÊNDICES	87
	ANEXOS	93

1 INTRODUÇÃO

A restauração de dentes tratados endodonticamente posiciona-se como um fator que influencia diretamente no sucesso do tratamento endodôntico e garante de certa forma a permanência do elemento dental em função na cavidade oral. Neste particular, técnicas e procedimentos restauradores em dentes tratados endodonticamente com extensa destruição coronária e radicular buscam identificar medidas que possam substituir de maneira satisfatória a estrutura dental perdida e que tenham características biológicas, mecânicas e estéticas adequadas, proporcionando longevidade ao dente tratado.

Na ausência de grande parte da estrutura coronária se requer do uso de pinos/núcleos intrarradiculares para dar retenção à restauração coronária e não objetiva-se aumentar a resistência do dente contra à fratura. Sabe-se que toda perda de estrutura ou desgaste dentinário podem enfraquecer a estrutura radicular. Neste contexto, desgastes dentinários intrarradiculares excessivos durante o tratamento endodôntico ou no preparo do canal para retentor podem deixar a estrutura dental mais susceptível à fraturas radiculares. Há evidências claras de que o dente despulpado não necessariamente enfraquece por alterações nano-mecânicas que ocorrem em sua estrutura, como perda de dureza, elasticidade, umidade e sim pela perda de estrutura tanto radicular como coronária. Assim, dentes com grande perda estrutural ou fragilizados apresentam uma capacidade reduzida para resistir às forças da mastigação.

A resistência à fratura de dentes tratados endodonticamente restaurados com retentores intrarradiculares está diretamente relacionada com a quantidade de dentina remanescente e o tipo de material usado. Baixo esta premissa, a restauração de dentes tratados endodonticamente tem sido objeto de estudos que buscam identificar meios que possam deixar o complexo restaurador mais resistente às cargas oclusais causando mínimos impactos negativos no remanescente.

O ponto que se deve levantar é que a ocorrência de insucesso das restaurações radiculares se dá na maioria das vezes por falhas biomecânicas, que podem ocorrer devido a indicação errônea de certos materiais para as mais variadas situações. Posiciona-se de grande importância eleger o material com o qual os retentores intrarradiculares serão confeccionados e torna-se fundamental na

atualidade, buscarmos alternativas aos sistemas de núcleos metálicos, uma vez que, a substituição da dentina intrarradicular perdida por materiais com ligas metálicas poderá em determinadas circunstâncias gerar efeito de cunha e levar à fraturas radiculares catastróficas e irreparáveis.

É desejável que os materiais usados para restaurar dentes tratados endodonticamente devam apresentar propriedades físicas e mecânicas similares aos da dentina, como rigidez e o módulo de elasticidade. Com isto, tendem a distribuir de forma mais homogênea as tensões geradas durante a mastigação, minimizando o risco de fratura radicular.

Na última década, com a evolução dos sistemas adesivos, materiais restauradores adesivos e pinos fibrorresinosos, a reabilitação dos dentes tratados endodonticamente passou a ser realizada através de outros métodos, uma vez que, ao contrário dos pinos metálicos e cerâmicos, esses pinos, independente do tipo de fibra, apresentam adesividade à estrutura dental e ao material restaurador, formando assim uma estrutura homogênea. Porém, apresentam uma limitação que é a adaptação do pino pré-fabricado às paredes do canal radicular. Para isto, pinos customizados ou anatomizados tem sido propostos com a finalidade de fornecer maior retenção do pino ao canal, menor espessura de cimento resinoso e consequentemente, menor contração do cimento e menor quantidade de espaços vazios, diminuindo desta forma a chance de deslocamento dos pinos, no qual é a principal falha que ocorre. Outro ponto, é a resistência à fratura dos materiais quando submetidos à cargas compressivas e o impacto causado na estrutura remanescente.

Com base no exposto e as características desejáveis dos materiais restauradores do canal radicular, desenvolve-se um bloco de material híbrido-polímero de alta performance destinado para a confecção de retentores intrarradiculares fresados em CAD/CAM.

Como todo novo material ou recurso tecnológico desenvolvido em nossa área profissional, a compreensão dos princípios biomecânicos aplicáveis às restaurações é importante para poder projetar materiais e restaurações que providenciem maior resistência, retenção mecânica e longevidade dos procedimentos restauradores. Assim, o estudo e análise fractográfica do elemento dental após aplicação de cargas compressivas permite entender o comportamento biomecânico dos retentores, e a possibilidade restauradora no caso de uma reintervenção posterior.

Diante da necessidade de uso do material proposto para a confecção de retentores intrarradiculares, faz-se necessária sua comprovação científica, e entendemos lícito avaliar a resistência à fratura do pino/núcleo proposto em canais radiculares fragilizados, justificando desta forma, estabelecer a melhor técnica restauradora radicular para essas situações clínicas, e que de alguma forma poderá ter impacto no tratamento endodôntico restaurador.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A restauração de dentes tratados endodonticamente tem sido um tema estudado por algumas especialidades com a finalidade de estabelecer melhores protocolos clínicos com embasamento científico. Por razões didáticas, a revisão de literatura considerou ensaios in vitro, estudos clínicos e trabalhos de revisões de literatura e foi dividida em dois tópicos: num primeiro plano revisamos ensaios relacionados ao uso de pinos/núcleos intrarradiculares em canais fragilizados e sua resistência à fratura, e na sequência, materiais fresados em CAD/CAM usados na confecção de pinos/núcleos intrarradiculares.

2.1 UTILIZAÇÃO DE PINOS/NÚCLEOS INTRARRADICULARES EM CANAIS FRAGILIZADOS

A restauração de dentes tratados endodonticamente torna-se muito importante para garantir a permanência do elemento em função na cavidade oral. Nisto, o uso de pinos intrarradiculares tem impacto direto no sucesso do tratamento endodôntico e dos procedimentos restauradores. Muito tem sido discutido sobre os métodos indicados para a reabilitação destes dentes tratados endodonticamente, dando ênfase à utilização de pinos e núcleos intrarradiculares. Estes foram pela primeira vez empregados como suporte de restaurações protéticas relatado por Fauchard (1728), que utilizou um pino de prata inserido no canal radicular com o objetivo de conseguir retenção, reforçando coroas de espiga já que os dentes desvitalizados apresentavam-se enfraquecidos e com perda de estrutura devido à cárie e procedimentos endodônticos.

Posteriormente, com a introdução de alguns materiais restauradores, Markley (1958) sugeriu a utilização de pinos para retenção de reconstruções de amálgama. Segundo o autor, o amálgama bem condensado apresentava resistência à compressão comparável com a da dentina, podendo ser utilizado também na confecção de núcleos de preenchimento. Dessa forma, a associação de pinos intradentinários ou intrarradiculares com reconstruções em amálgama passou a ser

um tratamento para salvar dentes ou raízes fragilizadas que normalmente seriam encaminhadas para extração.

Com o conceito de reforçar dentes fragilizados após tratamento endodôntico (Rosen, 1961) observou que dentes tratados endodonticamente apresentavam perda de umidade decorrente do tratamento endodôntico, que tornava a dentina friável e inelástica. Além disso, em sua análise observou a facilidade desses dentes em desenvolver lesões periapicais, recomendando a confecção de núcleos metálicos fundidos e coroa protética abraçando o término gengival, prevenindo com isso a ocorrência de fraturas radiculares sob cargas mastigatórias. Todo este procedimento poderia resultar no aumento da longevidade de dentes tratados endodonticamente.

Com a finalidade de proporcionar suporte à restauração, Silverstain (1964) designou o uso de núcleos metálicos para retenção de restaurações em dentes tratados endodonticamente que apresentavam-se enfraquecidos. Foram descritas diversas técnicas de reforço de dentes anteriores e posteriores a partir de núcleos metálicos que poderiam evitar a ocorrência de fraturas radiculares. Em relação à coroa unitária, o núcleo metálico fundido apresentou a vantagem de ser independente da coroa, permitindo reparos e trocas da mesma sem que houvesse a necessidade de substituição de toda restauração facilitando a obtenção do paralelismo entre pilares de uma prótese fixa.

Em 1965, Charlton enfatizou que o tratamento de escolha para restauração de dentes destruídos e com tratamento endodôntico seria a colocação de um pino fundido, sobre o qual era cimentada uma coroa (jaqueta). Sugeriu a utilização de pinos pré-fabricados por serem de fácil utilização e mais acessíveis em termos de custo ao profissional. Referindo-se à retenção dos núcleos metálicos, o mesmo deveria ter no mínimo o tamanho da coroa para que mecanicamente pudesse ter uma boa retenção. Assim mesmo direcionou a conduta de cimentação do pino, assim o cimento deveria ser colocado tanto no pino quanto no interior do conduto e um cuidado especial deveria ser tomado no posicionamento do pino, pois ele poderia agir como um êmbolo por ação da pressão hidrostática, não permitindo, assim, um adequado assentamento.

Com a popularização dos núcleos metálicos fundidos, Johnston et al. (1965) descreveram a técnica de obtenção de núcleos metálicos fundidos que poderia ser feita pela técnica direta ou indireta com o mesmo sucesso e que o comprimento do

pino deveria ser pelo menos igual ao tamanho da futura coroa, e enfatizaram que os dentes tratados endodonticamente são mais propensos à fratura quando comparados aos dentes polpados, devendo, assim, serem reforçados com pinos metálicos.

Quando a estrutura coronária estava enfraquecida, a raiz passaria a ser o suporte para a restauração, por intermédio de núcleos metálicos fundidos em ouro (Harris, 1970). A restauração de eleição para dentes tratados endodonticamente, destruídos por cáries, restaurações amplas e fraturas coronárias, é uma coroa total. Por outro lado o autor recomendou o uso de pinos pré-fabricados em dentes com grandes destruições coronárias.

Para Perel e Muroff (1972) o preparo do acesso cavitário para tratamento endodôntico leva à remoção de estrutura dentária, fragilizando o dente e predispondo à fraturas. Como proposta para reforço, indicaram o uso de um núcleo fundido, reforçando o conjunto raiz e porção coronária. Dentre os requisitos para o sucesso de tratamento com núcleos fundidos salientaram: 1) o pino deverá ser longo para prevenir o esforço interno excessivo na raiz; 2) o assentamento oclusal previne a ação de cunha, eliminando possível fratura da raiz; 3) a boa adaptação interna do pino distribuirá os esforços internos em toda sua extensão, além de proporcionar uma fina camada de cimento. Enfatizaram o perigo do uso de pinos rosqueados, como maior incidência de fratura a nível radicular.

Caputo e Standlee (1976) sugeriram a utilização de núcleos intrarradiculares com a finalidade retentiva de uma restauração e não de reforço. O pino utilizado deveria ao mesmo tempo oferecer o benefício da retenção sem o prejuízo da concentração de estresse dentinário, que pode resultar em fratura radicular. Pinos com paredes paralelas, de superfície serrilhada e cimentados com fosfato de zinco seriam a melhor combinação para o sucesso da prótese. Outra consideração importante com relação ao remanecente residual, foi que a manutenção de pelo menos 1,0 mm de dentina íntegra ao redor de toda circunferência do canal, seria fator fundamental para um prognóstico totalmente favorável.

No intuito de avaliar diferentes materiais associados a pinos intrarradiculares para proteger dentes enfraquecidos contra fratura, Chan e Bryant (1982) compararam a resistência à fratura e as características de falha de dentes posteriores tratados endodonticamente restaurados com ouro fundido, amálgama com pino e resina composta com pinos. Após realizados os testes encontrou-se que

os núcleos em ouro fundido apresentaram maior resistência à fratura. Todos os núcleos fundidos apresentaram deslocamento e a maioria deles apresentou fratura da raiz. Nos espécimes restaurados com amálgama e resina foram observados fratura do núcleo de preenchimento e apresentaram menor evidência de deslocamento do mesmo, sendo que dentes restaurados com núcleos em resina composta não apresentaram fraturas radiculares tão freqüentes como os núcleos de amálgama. Os autores puderam concluir com base nos seus achados que os núcleos de preenchimento de resina composta e amálgama são alternativas altamente aceitáveis.

Posteriormente, com a difusão, praticidade e disponibilidade no mercado dos pinos pré-fabricados, Deutsch et al. (1983) publicaram uma revisão da literatura avaliando os núcleos intrarradiculares pré-fabricados disponíveis no início daquela década. Com base nos achados os núcleos intrarradiculares apresentam duas principais funções: primeira a de reforçar a porção coronária e a porção radicular do dente contra fratura, no caso de existência suficiente de estrutura coronária e a segunda, é que na falta de uma quantidade considerável da estrutura coronária, o núcleo é utilizado para repor esta falta, além de reter e suportar a restauração protética subsequente.

Avaliando a fragilização dos dentes tratados endodonticamente, Tjan e Whang (1985) estudaram a resistência de raízes com canais preparados com tamanhos proporcionais às várias espessuras de dentina, os fatores biomecânicos que afetam a capacidade de proteção da estrutura dentinária remanescente e o poder de retenção da restauração. Os autores concluíram que núcleos com paredes paralelas seriam mais retentivos do que os núcleos cônicos. Quanto mais longo e largo é o núcleo, maior é a sua resistência e retenção. Com relação à espessura dentinária foram experimentadas as de 1 mm, 2 mm, 3 mm. O resultado mostrou que as raízes com 1mm de espessura na parede vestibular são mais propensas à fratura. Com base nestes achados, sabe-se que o desgaste dentinário excessivo do canal radicular pode enfraquecer a raiz por perda de dentina e causar fratura radicular.

Diante da literatura descrita, e a dúvida permanente se o pino intrarradicular realmente reforça um dente tratado endodonticamente, Trope et al. (1985) compararam a resistência à fratura de incisivos centrais superiores tratados endodonticamente sob diferentes métodos de restauração. Os dentes foram

divididos: 1) câmara pulpar preenchida sem resina composta; 2) câmara pulpar preenchida com resina composta; 4) conduto preparado 10 mm e deixado vazio; 5) câmara pulpar e 10 mm dentro do canal apenas preenchido com resina composta; 6) pino cilíndrico (Para-post) cimentado no canal e câmara pulpar preenchida com resina composta; 7) pino cilíndrico (Para-post) cimentado com fosfato de zinco no canal, câmara pulpar preenchida com resina composta. Os dentes foram submetidos ao teste de resistência à fratura. Como resultado, os autores encontraram que o preparo excessivo do canal para pino diminuiu significativamente a resistência do dente. A cimentação de um pino intrarradicular enfraqueceu o dente tratado endodonticamente. Pinos cilíndricos independente do cimento usado na cimentação do retentor geraram fraturas radiculares nos terços apicais.

Considerando que o enfraquecimento radicular em dentes tratados endodonticamente poderia ter varias causas entre elas: cáries, remoção excessiva de dentina durante o tratamento endodôntico e preparo para retentor, iatrogenia entre outros. Lui et al. (1987) acreditaram que o reforço radicular tornaria o remanescente capaz de suportar uma restauração, assim mesmo, apresentaram que a técnica de anatomização do canal radicular que em tese poderia reforçar raízes enfraquecidas. A técnica descrita foi a seguinte: após o tratamento endodôntico eliminava-se toda estrutura dentinária sem suporte, preservando pelo menos 1,0 mm de remanescente dentinário necessário para uma margem supra-gengival. O preparo para retentor era realizado com uma broca correspondente ao tamanho do mesmo preservando a obturação apical. Um fio metálico era posicionado no interior do conduto e sua adaptação verificada clinicamente e radiograficamente. O mesmo era lubrificado, posicionado para que a resina fosse injetada e condensada. Após a polimerização removia-se o fio e criava-se um novo conduto para cimentação do pino. Através deste procedimento, acreditou-se que com uma camada suficiente de resina, a raiz debilitada seria reforçada, possibilitando o suporte de um pino metálico em quase todas as situações onde este fosse requerido. Outra vantagem atribuída à técnica foi uma maior retentividade a partir da criação de um conduto mais paralelo e exato com procedimento simples. Com o objetivo de adaptar melhor o pino ao canal radicular e obter-se uma menor espessura e cimento resinoso ao redor do pino pré-fabricado, Lui (1994) descreveu uma técnica de reforço radicular canais em condutos radiculares debilitados, utilizando resina composta polimerizada através de pinos intrarradiculares fototransmissores (Luminex). Foi mostrado que a falta de adaptação

e mínima estrutura radicular remanescente dificultaria a utilização de pinos intrarradiculares de maneira convencional principalmente pela ausência de adaptação destes às paredes do canal radicular. Com a introdução dos materiais adesivos, tornou-se possível a reconstrução e reabilitação da estrutura dentinária perdida com resina composta e a utilização de pinos transparentes fototransmissores permitiu que a resina composta fosse fotopolimerizada em áreas de difícil acesso à luz. Utilizou-se resina composta híbrida que foi aplicada ao pino, que em seguida, foi reinserido até a profundidade marcada para garantir o comprimento desejado do futuro pino e ao mesmo tempo para facilitar a adaptação da resina contra as paredes radiculares. Concluiu-se que a reconstrução e o reforço de raízes debilitadas poderiam ser facilmente conseguidos através de resinas compostas fotopolimerizadas com auxílio de pinos fototransmissores.

Com o uso cada vez mais freqüente de resinas compostas e materiais adesivos na odontologia restauradora, Saupe et al. (1996) realizaram um trabalho em dentes humanos extraídos, com o objetivo de investigar a importância do reforço radicular em canais debilitados. Os espécimes foram divididos em quatro grupos: Grupo A- pino morfológico e núcleo fundido de ouro tipo III; Grupo B- reforço radicular com resina e núcleo metálico fundido; Grupo C- pino morfológico e núcleo fundido metálico de ouro, com variação do preparo onde no término deste foi criado um colar para metal de 2,0 mm como forma de resistência à fratura; Grupo D- reforço radicular com resina e núcleo metálico fundido com mesma variação do término do preparo semelhante ao Grupo C. O reforço radicular com resina composta foi executado com sistema Luminex (pino translúcido que permite a passagem de luz). Os corpos de prova preparados foram submetidos à ciclagem térmica seguido da aplicação de forças compressivas na face lingual dos dentes a uma carga constante, numa angulação de 60° até a fratura. Os resultados mostraram que não existiu diferença significativa entre os núcleos com colar metálico e os sem colar metálico dentro do mesmo sistema. A retenção dos núcleos cimentados com cimentos não adesivos tem a desvantagem de depender exclusivamente do embricamento mecânico. Já os cimentos resinosos apresentam adesão à dentina e ao pino, além do módulo de elasticidade mais próximo ao da dentina. Puderam concluir que o reforço radicular com resina composta associado ao uso do sistema Luminex pode aumentar 50% a resistência à fratura em comparação ao uso de núcleos metálicos fundidos; o uso do sistema Luminex e

reforço radicular com resina composta e cimentação do pino com cimento resinoso eliminaram a necessidade de um preparo com término para promover um colar metálico, reduzindo a perda de estrutura dentária sadia.

Marchi (1997) comparou a resistência à fratura de raízes integras e debilitadas restauradas através de núcleos fundidos e pinos pré-fabricados metálicos. A análise estatística dos dados demonstrou que pinos pré-fabricados apresentaram resistência superior ao núcleo fundido quando cimentado em raízes debilitadas, não apresentando diferença estatística quando comparados em raízes integras. Concluíram também que o agente adesivo associado à resina composta foi efetivo em reforçar raízes debilitadas. No mesmo ano, Mendoza et al. (1997) realizaram um trabalho com o objetivo de avaliar a resistência à fratura de dentes endodonticamente tratados com canais amplamente fragilizados, restaurados com pinos intrarradiculares metálicos pré-fabricados paralelos aderidos à parede do canal radicular com cimento resinoso. O canal radicular foi alargado circunferencialmente perto da região cervical, deixando aproximadamente 1,0 mm de dentina entre o canal radicular preparado e a superfície radicular externa. Os espécimes foram divididos em 4 grupos: G1 pino metálico cimentado com cimento de fosfato de zinco; G2 pino metálico cimentado com Panavia, cimento resinoso autopolimerizável; G3 pino metálico cimentado com cimento resinoso C&B Metabond; G4 pino metálico cimentado com agente cimentante dual, após reforço radicular com resina composta. Os corpos de prova preparados foram submetidos a termociclagem e posteriormente à forças compressivas aplicadas a um ângulo de 60° numa velocidade de 0,5 mm/min até a fratura. A maioria dos corpos de prova sofreu fratura radicular vertical. As raízes do grupo do Panavia ofereceram maior resistência entre os grupos, significativamente diferente apenas do grupo cimentado com fosfato de zinco.

No comparativo entre o uso de pinos metálicos fundidos e pinos pré-fabricados, Smith et al. (1998) concluíram que os núcleos metálicos fundidos devem ser utilizados nos casos de canais radiculares elípticos ou excessivamente alargados e pinos pré-fabricados são compatíveis em dentes com canais circulares pequenos. Ainda em sua análise no que se refere os materiais de preenchimento coronário, mostram que a resina composta apresenta uma adequada resistência mecânica, capacidade de polimerização e rápida cura, mas, esbarram na tendência a microinfiltração. Por outro lado, o amálgama é fácil de manipular, apresenta alta

resistência à compressão e baixa característica de microinfiltração, mas, sua desvantagem maior é a demora e a pouca capacidade de adesão.

O ionômero de vidro, apesar de apresentar adesividade à estrutura dentária, liberação de flúor e baixo coeficiente de expansão térmica, não se mostrava material resistente à fratura. Segundo Marchi et al. (2003), diante da utilização de materiais restauradores como o cimento de ionômero de vidro, a resina composta e materiais híbridos de ionômero/resina para a restauração dos defeitos radiculares com a finalidade de evitar a extração de raízes enfraquecidas, seria necessária uma investigação sobre qual material oferece maior resistência para o remanescente dentário e mais facilita a técnica restauradora. Os autores selecionaram 75 raízes bovinas, que receberam em sua totalidade pinos pré-fabricados metálicos (Radix Anker – Dentsply Int. PA, EUA), cimentados com cimento resinoso (All Bond C&B - Bisco, IL, EUA), e foram subdivididas em um grupo controle, com raízes saudáveis, e quatro grupos experimentais: grupo 1- com raízes enfraquecidas sem reforço (somente o All Bond C&B); grupo 2- reconstruídas com cimento de ionômero de vidro modificado por resina (Vitremmer - 3M do Brasil, SP); grupo 3- reconstruídas com resina composta modificada por poliácido (Dyract AP - Bisco, IL, EUA); e grupo 4- reconstruídas com resina composta (Z100 - 3M do Brasil, SP), previamente à cimentação do pino. As raízes enfraquecidas tiveram a espessura de sua parede reduzida a 0,5 mm, às custas de sua parede interna, ao longo de uma altura de 4 mm no sentido apical. Nenhum tipo de coroa foi confeccionado. As raízes foram submetidas a uma força compressiva aplicada a 135° em relação ao longo eixo da raiz diretamente sobre o pino. Em relação à condição da raiz, os autores afirmaram que as raízes saudáveis apresentaram a maior resistência à fratura (513,69N), devido à maior espessura da parede dentinária ao redor do pino, demonstrando que a resistência à fratura dos dentes tratados endodonticamente é proporcional à quantidade de estrutura dentinária remanescente. Entre os grupos com raízes enfraquecidas, aquelas cujos pinos foram cimentados com ionômero de vidro Vitremmer, não apresentaram maior resistência. A resistência (N) para os grupos de 1 a 4 foi respectivamente: 311,37 (All Bond C&B); 418,56 (Vitremmer); 385,70 (Dyract AP) e 385,32 (Z100). Nenhum dos materiais avaliados foi capaz de alcançar a resistência das raízes íntegras.

Entretanto, a resina composta mostrou-se viável para utilização como nos estudos (Saupe et al., 1996; Mendoza et al., 1997). Por essa razão especularam que

é possível que o aumento da espessura radicular com materiais adesivos que possam realmente reforçar as paredes radiculares enfraquecidas. Devido à dificuldade de fotopolimerização da resina composta no interior dos canais radiculares, bem como outros problemas associados às resinas como contração de polimerização, Grandini et al. (2003) num relato de caso clínico, apresentaram uma técnica de reconstrução intrarradicular à qual chamaram de “pino anatômico” no qual reembasaram um pino de fibra de quartzo pré-fabricado com resina composta fotopolimerizável, obtendo-se um “pino anatômico” que reproduz exatamente a morfologia do canal radicular. O autor utilizou um pino de fibras de quartzo para a técnica, reembasado com uma resina fotopolimerizável de baixa viscosidade, a qual adere ao pino graças ao sistema adesivo. Verificou, através de MEV, que a espessura do cimento resinoso foi maior ao longo de todo o canal com pinos pré-fabricados quando comparado com os pinos anatômicos. Assim mesmo, argumentou que quanto menor a espessura do cimento ao redor do pino, mais uniforme é a distribuição das cargas oclusais e menor a contração de polimerização do cimento resinoso, bem como mais baixo é o número de espaços vazios no cimento. De fato, o MEV mostrou que com o pino anatômico houve redução significativa do número e da dimensão das bolhas no cimento resinoso.

Como base nos estudos anteriores, visto o benefício do uso de pinos/núcleos com materiais livres de metal, Newman et al. (2003) compararam os efeitos de três sistemas de pinos de fibras sobre a resistência à fratura e modo de falha de dentes alargados. Distribuíram incisivos centrais superiores em oito grupos experimentais e um grupo controle, no qual utilizou-se pino de aço inoxidável (Para-Post). Metade dos dentes dos grupos experimentais possuía condutos estreitos e a outra metade condutos alargados. Os pinos de fibras de polietileno Ribbond foram confeccionados diretamente em condutos de 1,6 mm de diâmetro. Os mesmos pinos foram cimentados nos condutos largos, que possuíam preparo cônico com 2 mm de diâmetro na porção mais cervical da raiz e 1,5 mm no ápice do preparo para retentor. Os pinos de Ribbond foram confeccionados com resina fluida fotopolimerizável para os dois tipos de condutos; nos condutos estreitos utilizaram-se dois pedaços de Ribbond e nos condutos alargados três pedaços do mesmo tamanho. Os espécimes foram submetidos ao teste de resistência à fratura à velocidade de 5 mm/min. Não houve diferença significativa na resistência entre condutos estreitos ou alargados com os pinos testados, exceto para o Ribbond

(maior valor em condutos largos). Em canais estreitos, a menor resistência foi 4,55 kgf para Ribbond e a mais alta foi 12,9 kgf para Luscent Anchors. Em canais largos, a menor resistência foi 9,04 kgf para FibreKor e a mais alta (12,87 kgf) foi igual para Luscent Anchors e Ribbond. O grupo com maior resistência à fratura foi o controle (18,33 kgf). Não ocorreu fratura radicular em nenhum dos grupos experimentais, e no grupo controle houve três fraturas no terço cervical radicular. Concluiu-se que embora pinos metálicos tenham apresentado maior resistência que os pinos de fibras, o modo de falha dos últimos protege o remanescente dentário.

Carvalho et al. (2005) avaliaram a eficácia de reforços radiculares através preenchimento do canal com resina composta e pino de zircônia em dentes com paredes fragilizadas (dentes imaturos). Os espécimes foram divididos em 4 grupos: GI- canais instrumentados, alargados (para simular rizogênese incompleta) e reforçado com resina composta fotopolimerizada através de pinos fototransmissores (LUMINEX); GII- canais instrumentados, alargados e reforçados com pinos de zircônia; GIII- tratamento similar aos GI e GII, sem reforço radicular; GIV- raízes sem enfraquecimento e sem reforço radicular. Os dentes foram submetidos a forças compressivas até a fratura. Os resultados mostraram maiores valores de resistência à fratura no GI e GII sem diferença estatisticamente significativa entre si, porém significativamente diferente entre os GIII e GIV. A utilização de reforços radiculares com pino de zircônia ou resina composta fotopolimerizável aumentou significativamente a resistência estrutural de dentes fragilizados, porém não o suficiente para alcançar valores de dentes sem enfraquecimento. Concluíram que, uma vez fragilizadas, as raízes devem ser restauradas para que sua resistência aumente, mesmo que este reforço não tenha oferecido valores equivalentes aos obtidos pelas raízes sem perda de estrutura dentinária.

Diante da literatura descrita, uma grande variedade de protocolos e materiais tem sido explorados, modificados e propostos no intuito de estabelecer o melhor material para a confecção de retentores intrarradiculares com mínimos impactos negativos à estrutura remanescente. Nisto, Bonfante et al. (2007) investigaram a resistência à fratura e o padrão de falhas de dentes com raízes debilitadas, reconstruídos com diferentes tipos de pinos/núcleos. Distribuíram dentes tratados endodonticamente em cinco grupos: 1) núcleo metálico fundido; 2) pino pré-fabricados em fibras de vidro (FibreKor nro 2) de diâmetro menor que do conduto; 3) pino de fibras de vidro (FibreKor nro 2) de diâmetro menor que do conduto

associado à fitas de fibras de vidro; 4) pino de fibras de vidro (FibreKor nro 2) de diâmetro menor que do conduto associado à pinos acessórios de fibras de vidro Reforpin; 5) pino anatômico (pino de fibras de vidro FibreKor nro 2 de diâmetro menor que o conduto, reembasado com resina composta de baixa viscosidade). Os pinos foram cimentados com cimento resinoso RelyX ARC e construiu-se a porção coronária dos núcleos com resina composta. Os espécimes foram submetidos a cargas de compressão. Os maiores valores de resistência à fratura foram observados nos grupos restaurados com núcleo metálico fundido, seguidos, respectivamente, pelos pinos de fibra de vidro associados à pinos acessórios e pelos pinos anatômicos, sendo que estes valores não diferiram significativamente entre si. Os grupos 2 e 3 apresentaram valores de resistência à fratura estatisticamente inferiores. Quanto ao padrão de falhas, o grupo 1 apresentou 100% de fraturas radiculares; os grupos 2 e 4 tiveram padrão variado de fraturas; no grupo 3, 60% das fraturas ocorreram no terço cervical da raiz e no grupo 5, 50% das falhas ocorreram na porção coronária do núcleo. Avaliando uma situação similar, Clavijo (2007) avaliaram a resistência à fratura e o padrão de fratura de raízes fragilizadas reabilitadas com diferentes técnicas de construção de núcleos intra-radulares. 40 incisivos bovinos foram divididos em 4 grupos de acordo com a técnica de construção de pinos intra-radulares: Grupo 1 (raízes fragilizadas reabilitadas com núcleo metálico fundido), grupo 2 (raízes fragilizadas reabilitadas com pinos de fibra de vidro e pinos acessórios de fibra de vidro), grupo 3 (raízes fragilizadas reabilitadas com pino anatômico direto (resina composta + pino de fibra de vidro), grupo 4 (raízes fragilizadas reabilitadas com pino anatômico indireto de fibra de vidro). Todos tiveram seus núcleos cimentados com o cimento resinoso e submetidos à máquina de ensaio universal até sua fratura. Os pinos anatômicos direto e indireto mostraram maior resistência a compressão vertical quando comparados com os pinos sem anatomização, sendo uma opção para reabilitação de raízes fragilizadas.

No que se refere ao grau de fragilização radicular e a influência da reconstrução radicular na resistência à fratura de raízes, Zoghreibe et al. (2008) utilizaram dentes caninos humanos que foram divididos em 3 grupos: G1- dentes sem raízes fragilizadas (controle); G2- raízes parcialmente fragilizadas e G3- raízes amplamente fragilizadas. Todos os grupos foram tiveram seus condutos preparados em 9 mm com ponta diamantada esférica 1016. O G2 teve os 5 mm cervicais

preparados com ponta diamantada 3017, de modo que permanecesse 1 mm de parede dentinária remanescente. No G3 os 3 mm cervicais foram, ainda, desgastados com pontas diamantadas 3018, com apenas 0,5 mm de parede dentinária remanescente. Os grupos fragilizados tiveram suas porções média e cervical reconstruídas com resina composta Z250 com auxílio de pino translúcido Luminex. Em seguida pinos Reforpost número 3 foram cimentados no conduto com sistema adesivo Scotch Bond Multiuso e cimento resinoso RelyX ARC. A porção coronária foi reconstruída com resina composta Z250 e coroas metálicas foram cimentadas. Os dentes foram incluídos em blocos de resina acrílica e submetidos à ciclagem mecânica (250000 ciclos; 30 N; 2,6 Hz) em angulação de 45 graus em relação ao longo eixo do dente. Em seguida, os dentes foram submetidos ao teste de resistência à fratura e o padrão de falha foi analisado. O grupo controle (566,7 N) apresentou valores de resistência à fratura significativamente superior ao G2 (409,6 N) e ao G3 (410,9 N). Estes não diferiram entre si. No que diz respeito ao padrão de falha, os dentes sem fragilização radicular apresentaram maior quantidade de fraturas no terço incisal, Por outro lado, os grupos de dentes fragilizados apresentaram maior quantidade de fratura no terço médio.

As técnicas de reembasamento, customização ou anatomização do pino com resina composta ou uso de pinos acessórios parecem ser efetivos para melhorar o comportamento biomecânico de raízes fragilizadas. Silva et al. (2011) avaliaram o efeito de pinos e técnicas na deformação, resistência à fratura e padrão de fratura de incisivos com canal radicular alargado. Cento e cinco raízes bovinas, tratadas endodonticamente (15 mm) foram divididas em 7 grupos (n=15). Os grupos controle (C), constituídos de raízes não alargadas, foram restauradas com Cpc (núcleo metálico fundido) ou Gfp (pino de fibra de vidro). Nos grupos experimentais os canais foram alargados (F) e restaurados com: GfpAp (Gfp associado com pinos de fibra de vidro acessórios); GfpRc (pino anatômico, reembasado com resina composta) e GfpRcAp (pino anatomizado com resina composta e pinos acessórios). Os dentes foram restaurados com coroas metálicas. Fadiga mecânica foi simulada com 3 x 10⁵/50 N ciclos e o ensaio de compressão aplicado. Em seguida, a resistência à fratura (N) e o padrão de fratura foram verificados. Cpc resultou em menor resistência à fratura e com mais fraturas catastróficas em raízes fragilizadas. Corroborando o estudo anterior, Zhou e Huang (2014) estudaram materiais usados para a confecção de pinos/núcleos em dentes debilitados. Usaram 90 incisivos

superiores endodonticamente tratados que dividiram em 9 grupos: 4 grupos foram restaurados com pinos de metal e fibra, 5 grupos foram alargados para simular paredes de 1 mm e foram restaurados com metal e pinos de fibra. Pinos de fibra foram reconstruídos e cimentados com Unicem e ParaCore. Todos foram restaurados com coroas e submetidos a provas de resistência à fratura e análises de modos de falha. Puderam concluir que a maior resistência à fratura em canais normais foi obtida pelo grupo com pino metálico, e em canais com paredes finas (debilitados) o grupo de pino de fibra com núcleo de preenchimento (ParaCore) poderia incrementar a resistência à fratura.

Para avaliar a influência do comprimento do retentor intrarradicular e a espessura do remanescente dentinário na resistência à fratura de dentes tratados endodonticamente, Junqueira et al. (2017) avaliaram a fragilidade radicular em seu estudo sendo: não frágil, medianamente frágil, altamente frágil e o comprimento do pino 7, 9 e 12 mm. A fragilidade radicular foi obtida usando brocas diamantadas. Foram feitos os preparos para os pinos e nas raízes fragilizadas, os pinos de fibra de vidro foram anatomizados com resina composta para adaptar-se ao canal. Os pinos foram cimentados e foram feitas coroas de resina composta. Os espécimes foram submetidos à carga compressiva numa máquina de ensaio universal para analisar a resistência à fratura. A associação entre o comprimento e a espessura dentinária foi significativa e também entre o modo de falha e o comprimento e espessura dentinária. Com base nos seus achados, puderam concluir que em canais radiculares com espessura dentinária diminuída e pinos longos foram observados valores menores de resistência à fratura e as fraturas catastróficas foram mais predominantes.

Os pinos pré-fabricados apresentam vantagens tais como fácil instalação, tempo clínico reduzido, simplicidade e resistência quando comparados aos núcleos metálicos fundidos. Porém, a grande variedade de apresentações comerciais destes dificulta a seleção e indicação clínica, devido ao fato de que nenhum sistema pode ser aplicado em todas as situações. Porém há uma grande limitação que é a adaptação em canais amplos. Nisto fitas de fibra de vidro tem sido propostas na confecção de retentores intrarradiculares. Kubo et al. (2018) em seu estudo avaliaram a resistência à fratura e o modo de falha de dentes comprometidos estruturalmente (canais radiculares alargados) restaurados com quatro sistemas diferentes. As raízes foram divididas com base no tipo de restauração: somente

núcleo de resina composta (controle), pino de fibra de vidro, fitas de fibra de vidro cilíndroide, poste e fitas de fibra de vidro. Todas as amostras foram carregadas até ocorrer a fratura usando uma máquina de teste universal. Com base nos resultados, o grupo de fibras e fita apresentou resistência à fratura significativamente maior do que o grupo de fibras (769,40 N) e quase todas as amostras apresentaram fraturas radiculares não restauráveis. Os autores concluíram que as fitas de fibra de vidro cilíndroide aumentaram significativamente a resistência à fratura de dentes fragilizados. Este estudo recomenda o uso combinado de pinos e fitas de fibra de vidro.

Há uma tendência atual para o uso do polímero polieteretercetona (PEEK) na odontologia restauradora. Nisto, Sugano et al. (2020) recomendaram o uso de pinos pré-fabricados a partir de PEEK em dentes fragilizados. Em seu estudo avaliaram o uso de núcleo de resina composta (Grupo R); pino de fibra de vidro adaptável ao canal (Grupo S); pino PEEK (Grupo P); pino de fibra de vidro (Grupo F); pilar PEEK recoberto por fibra de vidro (Grupo PS); pino de fibra de vidro recoberto por fibra de vidro (Grupo FS). Os espécimes foram submetidos ao teste de flexão em três pontos e ao teste de compressão vertical. No teste resistência à fratura, os grupos F, FS e PS apresentaram maior resistência do que os outros grupos. Este estudo mostrou que os pinos pré-fabricados em PEEK e os pinos de fibra de vidro são recomendados na restauração de dentes com canais radiculares alargados.

Diante da literatura descrita, o uso de retentores intrarradiculares é estudada desde 1728, tendo aplicação clínica desde então. Durante todos esses anos uma variedade de protocolos e materiais tem sido explorados, modificados e propostos em canais fragilizados.

2.2 MATERIAIS FRESADOS EM CAM/CAM USADOS PARA A CONFECÇÃO DE RETENTORES INTRARRADICULARES

Há uma busca contínua por materiais que tenham propriedades semelhantes aos da dentina e que possam preservar a estrutura dental mesmo que fragilizada diminuindo a chance de uma fratura radicular. Nisto, a adaptação do pino/núcleo às paredes do canal radicular é sempre desejada para poder diminuir a chance de

deslocamento do retentor, falhas adesivas, espaços vazios, menor linha de cimentação, entre outros. Os pinos/núcleos fresados em CAD/CAM tem se mostrado uma opção de customização ou anatomização indireta do espaço para retentor intrarradicular. Através de um caso clínico Liu et al. (2010) descrevem um método para restaurar um dente anterior severamente fragilizado com um pino/núcleo de fibra de vidro fresado a partir da tecnologia CAD/CAM. Usando este método, o pino/núcleo se encaixam em um espaço do pino preparado com mais precisão do que um poste de fibra pré-fabricado. Os autores puderam concluir que este pino/núcleo de fibra de vidro fresado se adapta melhor ao canal radicular do que um pino pré-fabricado em fibra de vidro e há uma redução da espessura cimento resinoso ao redor do pino. Além disso, não requer o uso de um núcleo coronário em resina composta.

Com o intuito de comparar pinos pré-fabricados com um pino experimental fresado em CAD/CAM, Ambica et al. (2013) avaliaram a resistência à fratura sob carga estática e dinâmica de dentes tratados endodonticamente restaurados com pinos pré-fabricados de fibra de carbono, pinos pré-fabricados de fibra de vidro e um pino experimental de dentina fresado em CAD/CAM e um grupo controle sem pino. Para o experimento foram usados incisivos centrais superiores que foram divididos em 4 grupos: grupo controle sem pino ($n = 10$), pino fibra de carbono ($n = 20$), pino fibra de vidro ($n = 20$) e pino de dentina ($n = 20$). A metade das amostras de cada grupo foi estadisticamente carregada até a fratura, e a metade restante foi submetida a carga cíclica, seguida de carga monostática até a fratura. O grupo controle demonstrou maior resistência à fratura (935,03 N), seguido pelo grupo pino de dentina (793,12 N), grupo pino de fibra de vidro (603,44 N) e grupo pino de fibra de carbono (497,19 N) sob carga estática. Esses valores foram reduzidos para 786,69 N, 646,34 N, 470 N e 379,71 N, respectivamente, após carregamento cíclico. Os resultados sugerem que a dentina humana pode servir como material usado na confecção de retentores intrarradiculares.

Os materiais e blocos cerâmicos (cerâmica Feldspática, dióxido de zircônio, disilicato de lítio) destinados para fresagem de coroas em CAD/CAM apresentam alta performance e se destacaram-se especialmente devido à sua biocompatibilidade com a mucosa oral, Kaya e Ergun (2013) avaliaram o efeito de diferentes materiais (pino/núcleo de zircônia fresado em CAD/CAM e um pino de fibra de vidro customizado com resina composta) e a influência do comprimento do

retentor na resistência à fratura de dentes tratados endodonticamente. Para a realização do experimento utilizaram incisivos centrais superiores, formando 2 grupos de acordo com o comprimento do pino: 10 mm e 15 mm. Na sequência, foram subdivididos em 5 grupos: pino/núcleo de zircônia fresados em CAD/CAM, pino de zircônia CAD/CAM e núcleo coronário em resina (Biscore, Bisco), pino de zircônia CAD/CAM e núcleo coronário em resina composta (Admira, Voco), pino de fibra de vidro reforçado com composite com núcleo de resina (Biscore, Bisco) e pino de fibra de vidro reforçado com resina composta com núcleo de resina composta (Admira, Voco). Após cimentação das coroas protéticas, foram submetidos ao ensaio até que ocorresse a fratura. A resistência à fratura foi significativamente influenciada pelo tipo e comprimento do pino, mas não pelo tipo de material usado para o núcleo coronário. Os padrões de fratura observados em dentes restaurados com pinos de fibra foram mais favoráveis do que dentes restaurados com pinos de zircônia. Os autores recomendaram que pinos de zircônia mais longos com núcleos à base de zircônia ou resina podem ser usados como uma alternativa de tratamento aos pinos de fibra de vidro com núcleos à base de resina.

Apesar do benefício visto anteriormente com o uso de pinos/núcleos livres de metal, as ligas metálicas ainda são consideradas materiais de eleição na confecção de retentores intrarradiculares em determinados casos. Bilgin et al. (2016) fizeram um estudo comparativo com a finalidade de verificar a influência do fresado em CAD/CAM e a sinterização direta a laser (DMLS) das ligas metálicas Co-Cr. Em seu estudo avaliaram a confecção dos pinos com: fundição tradicional (FT), fresagem por CAD/CAM (CCM) e sinterização a laser (DMLS). Os pinos foram cimentados e submetidos as provas compressivas. Os autores concluíram que pinos fabricados por fundição e a laser apresentaram similares resistências à fraturas. Pinos fresados em CAD/CAM mostraram maiores valores de resistência à fratura.

Com a finalidade de comparar a resistência à fratura de pinos obtidos a partir de blocos híbridos (a base de resinas nanocerâmicas) para CAD/CAM e pinos de fibra de vidro pré-fabricados, Passos et al. (2017) em seu trabalho usaram caninos inferiores com e sem férula que foram divididos em grupos de pinos fresados em CAD/CAM e pinos pré-fabricados em fibra de vidro. Uma carga oblíqua de 45° foi aplicada até a ruptura e registrados os valores de resistência à compressão vertical. Como resultados da pesquisa não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos estudados. A distribuição do modo de fratura após o ensaio do grupo sem

férula não apresentou falhas desfavoráveis. Puderam concluir que os blocos híbridos para CAD/CAM podem ser considerados como um sistema alternativo para restauração intrarradicular, sugerindo novos estudos para aperfeiçoamento do sistema.

Com a finalidade de avaliar duas características desejáveis dos materiais fresados em CAD/CAM, que são a resistência à fratura e resistência de união às paredes do canal radicular de retentores intrarradiculares, Falcão Spina et al. (2017) em seu estudo usaram blocos híbridos (cerâmicos e nano-cerâmicos híbridos a base de resina) para confecção de pinos/núcleos fresados em CAD/CAM em canais severamente fragilizados. Os grupos usados no estudo foram: bloco de cerâmica híbrida (Vita Enamic, HC); bloco de resina nano-cerâmica (Lava Ultimate, RC); e bloco experimental reforçada de fibra de vidro reforçado com resina (FG). Os pinos/núcleos foram fresados em CAD/CAM e cimentados em cimento resinoso (Rely X Unicem2). Os espécimes foram submetidos aos testes de resistência à fratura (FR) e resistência adesiva (BS). Os valores de FR (média $\pm$ DP, em Newtons) foram $414,5 \pm 83,9$ (HC), $621,3 \pm 100,3$ (RC) e $407,6 \pm 109,0$ (FG), sendo que o grupo (RC) mostrou maiores valores de FR. Para BS, não houve diferença estatisticamente significativa entre os materiais ($P > 0,05$). Os autores concluíram que o tipo de material usado para obter-se pinos/núcleos personalizados em CAD/CAM tiveram resultados satisfatórios no que se refere a resistência à fratura, mas não na resistência adesiva.

Uma boa adaptação do pino às paredes do canal possibilitada pela customização garante uma fina camada de cimento, que por sua vez minimiza a contração de polimerização e fornece resistência adesiva adequada. Da Costa et al. (2017) avaliaram a resistência à fratura, espessura da linha de cimentação e presença de espaços vazios de pinos/núcleos de fibra de vidro fresados em CAD/CAM comparados com pinos pré-fabricados de fibra de vidro em raízes fragilizadas. Os espécimes foram analisados através micro tomografia foi usada para avaliar a espessura da linha de cimentação e a presença de espaços vazios. Os espécimes foram termociclados e em seguida, submetidos ao teste de resistência à fratura e os valores obtidos em N. Foram encontradas resistências à fratura entre 640.4 e 792.9 N sem diferença significativa entre grupos. Os pinos customizados apresentaram menor espessura de cimento entre pino e a parede do canal radicular e foram encontrados menos espaços vazios. Com base nos achados, os autores

puderam concluir que os pinos de fibra de vidro customizados em CAD/CAM apresentaram boa resistência à fratura em raízes debilitadas, não havendo falhas catastróficas no remanescente radicular e promoveram uma menor linha de cimentação e conseqüente menos quantidade de espaços vazios.

A customização do pino/núcleo obtido em CAD/CAM requer a digitalização de um padrão e o subsequente design digital. Falcão Spina et al. (2018) descreve por meio de um relato clínico, uma técnica de restauração de um segundo pré-molar superior usando um pino/núcleo estético fresado em CAD/CAM a partir de um bloco de resina com nanopartículas (Lava Ultimate; 3M Dental Products). O método de impressão com silicona melhorou a eficiência do fluxo de trabalho em comparação com a técnica de padrão de resina acrílica. Com base nos achados clínicos, os autores recomendam o uso da tecnologia CAD/CAM e blocos a base de resina nanoparticulada para a confecção de retentores intrarradiculares.

Para avaliar a eficácia dos blocos de fibra de vidro para CAD/CAM, com pinos pré-fabricados em fibra de vidro e ligas metálicas em canais fragilizados, Pang et al. (2019) avaliaram a resistência à fratura e comportamento de fratura ocorrida nesses dentes. Para isto, os dentes após fragilização foram divididos em: pinos/núcleos fresados em blocos de fibra de vidro em CAD/CAM (Grupo A), pinos/núcleos pré-fabricados em fibra de vidro (Grupo B) e núcleo metálico fundido (Grupo C), respectivamente. Após serem submetidos a uma carga estática até a fratura, as forças médias de fratura dos grupos A e C foram significativamente maiores que as do Grupo B, enquanto que não foram observadas diferenças entre os Grupos A e C. Além disso, modos de fratura reparáveis foram observados principalmente no Grupo A, enquanto fraturas irreparáveis e catastróficas foram encontradas principalmente em Grupos B e C. Esses resultados demonstram que, em comparação aos tratamentos tradicionais, pinos de fibra de vidro fresados em CAD/CAM aumentaram significativamente a resistência à fratura de canais radiculares fragilizados. Num estudo similar, Sary et al. (2019) corroboram os achados anteriormente pesquisados.

O uso de polímeros de alta densidade para confecção de retentores intrarradiculares tem sido uma proposta para substituir materiais reforçados com fibras de vidro. Nisto, Eid et al. (2019) em um estudo piloto avaliaram a resistência à fratura e o padrão de falha pinos/núcleos fresados em CAD/CAM usando materiais fresados a partir de blocos de polímeros de alta densidade e blocos reforçados com fibra de vidro. Os grupos de estudo usados neste trabalho foram: grupo (RXP): pinos

pré-fabricados em fibra de vidro (Rely X, 3M-ESPE) e núcleo coronário (Filtek Bulk Fill Posterior, 3M-ESPE); grupo (BLC): pino/núcleo fresado a partir de um bloco de compósito reforçado com fibra de vidro (Trilor, Bioloren); e grupo (AMC): pino/núcleo fresado em um disco híbrido de cerâmica (Ambarino, Creamed). Todos os postes foram cimentados usando um cimento resinoso (RelyX U200, 3M ESPE). A resistência à fratura foi testada usando uma máquina de ensaio universal e os padrões de falha foram observados. Os valores médios de resistência à fratura foram: 426,08 N no grupo (RX P), 367,06 N no grupo (BLC) e 620,02 N group (AMC). O grupo (CMB) apresentou a maior carga média para fraturar em comparação com os outros grupos e foram observadas falhas catastróficas em todos os grupos. Os autores recomendaram o uso de polímero de alta densidade na confecção de retentores intrarradiculares por apresentar um desempenho melhor quando comparado com pinos de fibra de vidro pré-fabricados.

O uso de polímeros de alta densidade (PEEK) para confecção de pinos pré-fabricados (Sugano et al., 2020) se mostrou efetivo com relação a resistência à fratura em dentes tratados endodonticamente. Nisto, Teixeira et al. (2020) avaliaram a resistência à fratura e o modo de fratura de pinos/núcleos fabricados a partir de blocos de polímeros de alta densidade (PEEK) fresados em CAD/CAM e blocos de resina nano-cerâmica. Para tal comparação, as amostras foram divididas aleatoriamente em quatro grupos: grupo poliéterétercetona (PEEK, Degos; G1), grupo compósito nano-cerâmico (Lava Ultimate, 3M ESPE; G2), grupo pino metálico fundido (liga NiCr, controle G3) e grupo pino pré-fabricado de fibra de vidro (Whitepost, FGM, controle G4) customizado ao canal radicular com resina composta (Z250, 3M ESPE). Uma máquina de ensaio mecânico universal foi usada para medir a resistência à fratura (0,5 mm/min em um ângulo de 45° em relação ao eixo longo do dente). As fraturas foram classificadas como reparáveis ou catastróficas. Os valores de resistência à fratura (média $\pm$ DP, em N) foram 379,4 $\pm$ 119,8 (G1), 506,4 $\pm$ 138 (G2), 939,6 $\pm$ 146,5 (G3) e 449,6 $\pm$ 66,5 (G4). No G3 foram observadas maior frequência de fraturas catastróficas. Nos demais grupos, a maioria das falhas foi reparável. Pinos/núcleos confeccionados a partir de PEEK e compósitos nano-cerâmicos fresados em CAD/CAM exibiram bom desempenho mecânico, e sua resistência à fratura foi comparável à observada em pinos pré-fabricados customizados, porém menor que a dos pinos/núcleos de metálico fundido.

Diante da literatura descrita, observa-se que o histórico de materiais usados

para confecção de pinos/núcleos a partir de blocos em CAD/CAM desde a sua aplicação específica é curto, e as pesquisas aplicadas estão apenas em seu estágio inicial. Neste particular, materiais fresados em CAD/CAM tem mostrado um resultado promissor no qual sugere-se que seu uso.

3 PROPOSIÇÃO

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste presente estudo foi comparar a resistência à fratura de pinos/núcleos customizados confeccionados a partir de sistemas assistidos por computador (CAD/CAM) em canais radiculares fragilizados.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar e classificar a localização da fratura nos espécimes ocorrida após ensaio mecânico.

Analisar e classificar o tipo de fratura em quanto a possibilidade restauradora após ensaio mecânico.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia usada nesta pesquisa baseou-se em estudos previamente publicados na literatura. Desta forma, todos os procedimentos experimentais foram reproduzidos, com base nos protocolos estabelecidos a fim de se garantir a confiabilidade dos resultados obtidos.

O projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo. Após a aprovação (2.745.552, Anexo A) o experimento foi iniciado.

O cálculo amostral e o poder do teste foram aplicados para determinar o número de dentes necessários para o experimento. Então, Sob um teste t de Student foi fixado um efeito amostral de Cohen $d = 1.06$, nível de significância 5% e poder do teste 80%. Tais parâmetros conduzem a uma amostra de 10 dentes em cada grupo experimental.

4.1 SELEÇÃO E PADRONIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

Dentes humanos unirradiculares (pré-molares inferiores) foram examinados macroscopicamente e radiografados (Filme radiográfico E-speed, Kodak) em duas angulações a fim de verificar a presença do canal radicular. Como critério de inclusão, foram considerados raízes únicas, retilíneas, ápices completamente formados que apresentavam um único canal, ausência de calcificações e sem achatamento pronunciados. Em seguida, 40 dentes foram mantidos em solução fisiológica salina a 9 °C até o início do experimento.

Para padronização do comprimento, os espécimes foram fixados num bloco metálico utilizando cera pegajosa (Kota Ind. e Com. Ltda., São Paulo, SP, Brasil) e seccionados em uma máquina de corte seriado em baixa velocidade (Isomet 1000 precision saw, Buehler, Lake Bluff, IL, EUA), próximo à junção cimento-esmalte em 15 mm.

4.2 INCLUSÃO DOS ESPÉCIMES

Foi utilizado papel alumínio (Wyda Com. Imp. Ltda, Sorocaba, São Paulo, Brasil) para o recobrimento radicular (espaço de $0,2 \pm 0,3$ mm) em torno da raiz, que forneceu o espaço que posteriormente foi preenchido pelo silicone (Futura AD, Nova DFL, Portugal) simulando o “ligamento periodontal”.

Inicialmente demarcou-se 3,0 mm da base cervical da raiz em direção ao terço apical que posteriormente simulou as distâncias biológicas.

Para inclusão das raízes, foram usados cilindros de PVC (Tigre do Brasil, Osasco, SP, Brasil) com 20 mm de diâmetro por 25 mm de altura. Na sequência, em lâminas de cera utilidade, demarcou-se com um compasso uma circunferência referente ao diâmetro do tubo de PVC. Logo em seguida, centralizou-se a raiz na circunferência, colocou-se o tubo de PVC sobre a demarcação na cera (Figura 4.1A) e manipulou-se resina acrílica autopolimerizável, que foi inserida no interior dos tubos de PVC (Figura 4.1B-C).

Figura 4.1 – Fotografias do o protocolo da inclusão das raízes em resina acrílica (A) Espécime centralizado no tubo de PVC. (B-C) Inclusão e preenchimento com resina acrílica

Fonte : O autor

Após a polimerização da resina acrílica (Figura 4.2A), o papel alumínio ao redor das raízes e do interior do alvéolo artificial foi removido, e então, o silicone de adição fluído foi inserido no interior do alvéolo artificial (Figura 4.2B), simulando-se desta

forma o ligamento periodontal artificial. Para finalizar, removeram-se os excessos e verificou-se a demarcação de 3,0 mm cervicais referente as distâncias biológicas (Figura 4.2C).

Figura 4.2 – (A). Espécime centralizado no tubo de PVC (B). Inserção da raiz após preenchimento com silicone fluído do espaço referente ao ligamento periodontal (C). Manutenção de 3,0 mm cervicais referente às distâncias biológicas

Fonte : O autor

4.3 TRATAMENTO ENDODÔNTICO

A exploração do canal foi realizada com instrumento do tipo K #15 (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland) em 15 mm e o comprimento de trabalho (CRT) foi determinado subtraindo-se 1 mm dessa medida.

O CRT foi estabelecido em 14 mm, e todos os canais foram instrumentados com o sistema Wave One Gold (Dentsply Sirona) em movimento recíprocante. Primeiramente, foi inserida no interior do canal uma lima Primary (#25, conicidade inicial .07) avançando em sentido apical por terços até o CRT, em seguida, uma lima Medium (#35, conicidade inicial .06) finalizando o preparo com uma lima Large (#45, conicidade inicial .05) na mesma cinemática até o CRT. A cada introdução da lima no canal, foi realizada irrigação com 2 mL de hipoclorito de sódio 2,5% (Fórmula e Ação, São Paulo, SP, Brasil) totalizando o volume de 6 mL.

Após o preparo, os canais foram irrigados com 5 ml de EDTA 17% e 5 ml de NaOCl 2,5% e 5 ml de água destilada. Em seguida, os espécimes foram secos com

auxílio de cânulas de aspiração Capillary Tip (Ultradent, Salt Lake City, UT, USA) e cones de papel estéreis 50 (Dentsply).

4.4 OBTURAÇÃO DO TERÇO APICAL DO CANAL RADICULAR

A obturação do terço apical foi realizada acorde Valdivia & Machado (2018) pela técnica de onda ultrassônica de compactação vertical pela técnica segmentada, onde somente levou-se os 4 mm apicais do cone de guta-percha 50/.06 (Endo Tanari plus, Manaus, AM, Brasil) ao CRT com cimento endodôntico AHPlus (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany). Em seguida, o inserto ultrassônico (ObtPrep, Trinks, São Paulo, Brasil) acionado em aparelho ultrassônico ENAC OE-5 (Osada Electric, Nakatsu, Japão) termo compactou o material obturador no terço apical.

4.5 FRAGILIZAÇÃO DOS ESPÉCIMES

Para demarcação dos desgastes radiculares, uma sonda milimetrada (Hufriedy, Chicago, USA) foi usada para determinar pontos 1,0 mm a partir do cavossuperficial ao redor de toda a superfície radicular no terço cervical.

Gates-Glidden números 4 e 5 (Dentsply-Maillefer, Tulsa, USA) em baixa rotação foram utilizadas no desgaste intrarradicular do espaço para retentor, até que atingisse a profundidade de 10 mm. Após esta etapa, nesse mesmo comprimento de trabalho foi utilizada uma broca diamantada 4137 (KG Sorensen, São Paulo, Brasil) (Figura 4.3A) em baixa rotação sob abundante irrigação com água para realizar o alargamento intra-radicular (Figura 4.3B), deixando assim uma espessura dentinaria cervical de 1,0 mm e apical de 2,5 mm no espaço para retentor. Logo aferiu-se todas as espessuras das raízes com paquímetro digital (Marchi et al. 2008) no terço cervical (Figura 4.3C).

Figura 4.3 – (A). Fragilização dos espécimes com uma broca diamantada 4137 (B). Raiz fragilizada (C). Aferição das paredes remanescentes do terço cervical (1,0 mm de parede dentinária remanescente) com paquímetro

Fonte : O autor

Para confirmar que os desgastes dentinários do espaço para retentor (Figura 4.4A-B) estivessem no padrão metodológico estabelecido foi realizado um escaneamento tomográfico (Prexion 3D, TeraRecon, San Mateo, California, USA).

Figura 4.4 – Determinação das espessuras radiculares (A). Corte tomográfico axial (B). No corte tomográfico coronal foi realizada a medição da espessuras radiculares nos terços cervical (1,0 mm) e apical (2,5 mm) do espaço para retentor intrarradicular

Fonte : O autor

4.6 DIVISÃO DOS GRUPOS EXPERIMENTAIS

Após inclusão e padrozinação dos espécimes, foi realizada a distribuição aleatória por grupo experimental (n=10) conforme apresentado (Tabela 1).

Tabela 4.1 – Distribuição dos grupos do experimento segundo o material de composição e método de fabricação dos pinos/núcleos

Grupos	n	Composição do Material	Método de fabricação
PBE	10	Bloco de compósito híbrido (Poliéter-éter-cetona e carga vitrocerâmica)	Fresagem em CAD/CAM
PFC	10	Bloco de compósito de fibras de vidro e resina epóxi (Fibras de Vidro e Resina Epóxi) - Pino de fibra de vidro	Fresagem em CAD/CAM
PFA	10	(fibra de vidro, resina epóxi, carga inorgânica, silano, promotores de polimerização) - Resina composta nanoparticulada	Reembadamento do pino pré-fabricado com resina composta
PMF	10	Disco de liga metálica de Cobalto Cromo (Co-Cr)	Fresagem em CAD/CAM

Fonte: Produção do autor

4.6.1 Obtenção e escaneamento do padrão de resina acrílica dos espécimes

Inicialmente, as paredes dos condutos radiculares foram isoladas com gel hidrossolúvel (KY, Johnson & Johnson, FL, EUA). Em seguida, para a modelagem do canal radicular, uma resina acrílica autopolimerizável de presa rápida (DuraLay/Reliance, IL, EUA) foi inserida ao pino de resina acrílica (Pin Jet, Angelus, Paraná, Brasil) com auxílio de pincel e ambos foram levados ao canal. A construção da porção coronária foi realizada com a mesma resina através de um molde, confeccionado em silicone de adição (Express XT - 3M ESPE, St Paul, USA).

Após obtidos os padrões de resina acrílica (Figura 4.5A), tiveram seu formato e dimensões lidos digitalmente (Figura 4.5B) a través de um scanner de bancada

(Scanner S600 ARTI Zirkonzahn, Bozano, Itália), cujas imagens resultantes foram armazenadas para dar origem a pinos/núcleos (Zirkonzahn CAD software, Bozano, Itália) (Figura 4.5C).

Figura 4.5 – (A). Vista lateral do padrão em resina acrílica (molde do espaço para retentor intrarradicular) (B). Escaneamento do padrão de resina acrílica (Scanner S600 ARTI Zirkonzahn) (C). Obtenção do modelo virtual no Zirkonzahn CAD software

Fonte : O autor

Após a obtenção dos modelos virtuais de trabalho (pino/núcleo) de cada grupo foram confeccionados os corpos de prova.

4.6.2 Confeção dos corpos de prova para o grupo PBE

Foi usado para a confecção dos pinos neste grupo um bloco experimental (Figura 4.6A) que teve sua composição baseada em estudos pilotos prévios, nos quais foram avaliadas a proporção de poliéter-éter-cetona (PEEK), de carga vitrocerâmica a ser inserida, e o melhor método de tratamento de superfície do bloco. Estabeleceu-se a proporção de 70% de carga orgânica (PEEK), 30% de

partículas inorgânicas (dióxido de zircônio e sílica), iniciadores de polimerização, estabilizantes entre outros.

O bloco experimental foi posicionado na fresadora (M1 Zirkonzahn CAM, Bozano, Itália), e foi realizada a fresagem do bloco para obtenção do pino/núcleo experimental (Figura 4.6B-C).

Figura 4.6 – (A). Bloco experimental (B). Bloco após fresagem (C). Obtenção do pino/núcleo fresado em CAD/CAM

Fonte : O autor

4.6.3 Confeção dos corpos de prova para o grupo PFC

Bloco de fibra de vidro (FiberCad, Angelus) (Figura 4.7A) foi utilizado para confecção dos pinos/núcleos intrarradiculares (Figura 4.7B).

Figura 4.7 – (A). Bloco FiberCad (B). Pino/núcleo de fibra de vidro fresado em CAD/CAM

Fonte : O autor

4.6.4 Confeção dos corpos de prova para o grupo PFA

A superfície do pino de fibra de vidro pré-fabricado (Whitepost DC nº 0.5, FGM) (Figura 4.8A) foi limpa com álcool a 70%. O agente de união silano (Prosil, FGM, Joinville, SC, Brasil) foi aplicado no pino por 1 minuto e a superfície foi seca com jatos de ar por 5 segundos. Duas camadas de adesivo convencional (Ambar Universal, FGM) foram então aplicadas no pino, seguido de jato de ar e fotoativação de 10 segundos. A seguir, os canais radiculares foram lubrificados com gel hidrossolúvel (gel lubrificante KY, Johnson & Johnson, São José dos Campos, SP, Brasil). O pino pré-fabricado foi envolvido com a resina composta nanohíbrida (Vittra APS, FGM) (Figura 4.8B) e o conjunto assim obtido (pino e resina) foi inserido no conduto radicular. Este conjunto foi retirado e recolocado removendo o excesso de resina composta e fotoativando-a por 20 segundos com o pino em posição no interior do canal. O conjunto foi então removido do interior do canal e a resina composta foi novamente fotoativada por 40 segundos adicionais em todas as superfícies do pino reembasado. O pino/núcleo anatomizado (Figura 4.8C) obtido foi provado no interior de seu respectivo canal radicular para verificar sua completa adaptação.

Figura 4.8 – (A). Pino de fibra de vidro WhitePost DC (B). Resina composta Vittra APS (C). Obtenção do pino anatomizado

Fonte : O autor

4.6.5 Confeção dos corpos de prova para o grupo PMF

Kera Disc (Kera NH; Eisenbacher Dentalwaren) (Figura 4.9A) que é um bloco para CAD/CAM de metal pré-sinterizado foi utilizado para a confecção dos pinos/núcleos metálicos (Figura 4.7B). Fabricado a partir de liga metálica não nobre a base de Cobalto Cromo (Co-Cr).

Figura 4.9 – (A). Disco de Cobalto Cromo (Co-Cr) para CAD/CAM (B). Obtenção do pino/núcleo metálico

Fonte : O autor

4.7 CONDICIONAMENTO DOS PINOS/NÚCLEOS INTRARRADICULARES

A superfície dos pinos/núcleos foi inicialmente limpa utilizando ácido fosfórico a 37% (Condac 37, FGM), durante 15 segundos. Em seguida, o retentor foi lavado abundantemente com água, para a completa remoção do ácido, e seco.

Os pinos/núcleos receberam tratamento de superfície específico para cada grupo segundo recomendação dos respectivos fabricantes.

No grupo PBE, os pinos/núcleos receberam a aplicação do primer (Visio.link, Bredent, Alemanha) e foram submetidos a polimerização por 90 segundos (VALO, Ultradent, Salt Lake City, UT, USA).

Nos grupos PFC e PFA, após a confecção os pinos/núcleos foram condicionados com agente silano (Prosil, FGM) utilizando micro aplicador extra-fino longo (Cavibrush, FGM). Após 60 segundos, a superfície do pino foi seca com jato de ar, durante 5 segundos.

No grupo PMF, foi realizado o jateamento com óxido de alumínio (5 s a 30 mm, Bio Art, Brasil), seguido de lavagem ultrassônica por 10 minutos em água destilada e aplicação do primer (Rely X ceramic primer, 3M ESPE, EUA) recomendado pelo fabricante do cimento.

4.8 CIMENTAÇÃO DOS PINOS/NÚCLEOS INTRARRADICULARES

Antes da cimentação do pino/núcleo, para a limpeza do espaço para retentor intrarradicular de cada espécime foi utilizado 5 mL de NaOCl 2,5%, 5 mL de solução de ácido etilenodiaminotetracético 17% (EDTA-T) e 5 mL solução salina como protocolo de irrigação final. Após remoção dos irrigantes, os canais foram secos com pontas de papel absorvente (Dentsply Maillefer). Em seguida, foi utilizado o cimento autoadesivo RelyX U200 (3M ESPE, Saint Paul, USA) para a cimentação dos pinos/núcleos, seguindo-se a recomendação do fabricante. Após fotopolimerização rápida, por 2 segundos, foi feita a remoção do cimento extravasado. Em seguida, foi feita a polimerização completa com o uso do fotopolimerizador numa potência de 1000 mW / cm² (VALO, Ultradent) por 20 segundos em cada face dentária, junto à porção cervical radicular.

4.9 TERMOCICLAGEM

Para simular o ambiente bucal, os espécimes foram armazenados em uma incubadora, variando de 24 a 72 horas, a 37°C em 90% de umidade até a termociclagem ter sido começada. Os dentes restaurados foram submetidos a 10.000 ciclos térmicos em banhos de água de 5 e 55°C alternadamente com um tempo de 30 segundos para cada banho, e armazenadas em água destilada por 24 horas a 37°C para simular condições da cavidade bucal antes do teste de resistência à fratura.

4.10 ENSAIO MECÂNICO

Para a realização do teste de resistência à fratura, foi utilizada uma máquina universal de ensaios (Instron Universal Test 4444, Instron Corp., EUA) no departamento de Materiais Dentários da FO USP. Os espécimes foram fixados na máquina por meio de um suporte em aço inoxidável (100 mm de altura por 70 mm de base) dotado de um plano inclinado de 45° em relação ao plano horizontal e com uma cavidade cilíndrica na porção central para adaptação do tubo de PVC. O dispositivo metálico formou um ângulo de 45° entre o eixo (vertical) do cone de aço do mordente superior da máquina de ensaio universal e o eixo longitudinal das raízes, simulando a componente de forças.

A carga de compressão foi aplicada com uma ponta em forma de meia lua plana, a qual foi apoiada tangenciando a face vestibular dos núcleos, com uma célula de carga de 100 Kg a uma velocidade constante de 0,5 mm/min até que a máquina detectasse a menor queda na resistência à compressão (Apêndice B).

O valor da carga foi registrado em Newtons (N) (Apêndice A) e os valores médios obtidos foram calculados por grupo.

4.11 ANÁLISE FRACTOGRÁFICA

Um estereomicroscópio (Stemi 2000-C, Carl Zeiss, Jena, Germany) com ampliações de 7.5X a 50X foi usado para analisar as fraturas ocorridas após o ensaio de compressão (Apêndice C), sendo classificadas (Zicari et al., 2012) (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Critérios de avaliação dos espécimes após ensaio mecânico de resistência à fratura

- Em quanto à localização da fratura (Figura 4.10):			
Pino / Munhão Coronário	Terço Cervical	Terço Médio	Terço Apical
- Em quanto à possibilidade de reabilitação após fratura radicular (Figura 4.11):			
Favorável		Desfavorável	
Quando a extensão da fratura está até 1 mm por debaixo do nível ósseo simulado.		Quando a extensão da fratura está abaixo de 1 mm por abaixo do nível ósseo simulado.	

Fonte: Produção do autor

Figura 4.10 – Critério para classificação das fraturas em quanto à localização

Fonte : O autor

Figura 4.11 – Critério para classificação das fraturas em quanto a possibilidade de reabilitação após fratura radicular

Fonte : O autor

4.12 FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

O tamanho amostral de este trabalho de pesquisa foi calculado com base nas médias e desvio padrão de resistência à fratura do estudo piloto, utilizando o programa R (Project for statistical computing) sob o teste Mann-Whitney-Wilcoxon em que fixou-se o efeito amostral de Cohen, nível de significância 5% e poder do teste 80%. Tais parâmetros conduzem a uma amostra de 10 dentes para cada grupo.

Todos os dados obtidos foram tabulados e submetidos à análise estatística. Inicialmente, para testar a normalidade dos dados para aplicação de testes estatísticos paramétricos, os valores resistência à fratura (N) foram analisados pelos testes de Shapiro-Wilk. Estas condições permitiram a realização do teste paramétrico de t de Student para comparações entre grupos (para diferença de médias). Todos com nível de significância de 5%.

5 RESULTADOS

O teste mecânico centrou-se em avaliar a resistência à fratura de pinos/núcleos em situações controladas. Os valores de resistência média à fratura (N) obtidos nos grupos PBE, PFC, PFA e PMF e as respectivas estatísticas descritivas (valores amostrais das médias e desvios-padrão) estão descritos na Tabela 5.1, onde estão dispostas as comparações de força máxima de ruptura (N). Na comparação entre grupos foi observada que a carga requerida para fraturar os pinos do grupo PBE foi estatisticamente similar com o grupo PMF ($P>0.05$) e maior que nos grupos PFC e PFA ($P<0.05$). Houve diferença significativa entre ambos os grupos PFC e PFA ($P<0.05$).

Tabela 5.1 - Médias dos valores de resistência à fratura (N) dos grupos estudados

Grupos	Média $\pm$ DP
PBE	786.14 $\pm$ 93.516 ^a
PFC	551.06 $\pm$ 69.197 ^b
PFA	420.77 $\pm$ 37.77 ^c
PMF	799.85 $\pm$ 63.491 ^a

^{a-c} Diferentes letras indicam diferença significativa entre linhas respectivamente ($p<0.05$).

Fonte: O autor.

Na Figura 5.1 estão representadas graficamente os boxplots para as resistências de cada grupo estudado. Os diagramas de caixa permitem estimar as diferenças evidenciadas através da estatística descritiva, e observa-se que quanto maior a sobreposição das caixas menor é a evidência de diferença entre as médias. No grupo PFA foi possível observar alguns valores atípicos plotados como pontos individuais no diagrama.

Figura 5.1 - Boxplots para resistência à fratura dos grupos estudados

Fonte: O autor

A localização das fraturas (pino, terço cervical, médio e apical) após o ensaio mecânico é demonstrada na tabela 5.2. Os resultados apresentados demonstraram indícios que os grupos PBE, PFC e PFA exibiram um padrão de fratura similar que foi predominantemente no pino/núcleo e terços cervicais do canal radicular, enquanto que no grupo PMF foram encontradas nos terços médio e apical.

Tabela 5.2 - Frequência (%) da localização da fratura para cada grupo experimental após ensaio mecânico

Grupos	Total	Localização da fratura (%)			
		Pino	Terço cervical	Terço Médio	Terço Apical
PBE	100%	40%	40%	20%	0
PFC	100%	40%	40%	20%	0
PFA	100%	60%	40%	0	0
PMF	100%	0	0	60%	40%

Fonte: O autor

A distribuição percentual do tipo de falha favorável (F) ou desfavorável (D) em quanto à possibilidade de reabilitação dos espécimes após fratura podem ser observadas no gráfico de barras 5.2. Os espécimes do grupo PMF apresentaram falhas desfavoráveis em sua totalidade. Enquanto que nos grupos PBE e PFC apresentaram maior frequência de falhas favoráveis, e no grupo PFA todas as falhas foram favoráveis.

Figura 5.2 – Gráfico de porcentagem dos espécimes quanto a possibilidade de reabilitação após fratura para cada grupo estudado, sendo favorável (F) ou desfavorável (D).

Fonte: O autor

6 DISCUSSÃO

A restauração de dentes tratados endodonticamente com pinos ou núcleos em casos de perda severa de estrutura radicular é um tratamento desafiador, e torna-se fundamental planejar o material e a técnica restauradora que serão empregados, pois estas escolhas merecem uma atenciosa consideração já que influenciam diretamente na longevidade da restauração dos dentes tratados endodonticamente. Neste contexto, apesar da grande quantidade de pesquisas e da enorme variedade de materiais restauradores disponíveis no mercado, fica clara a necessidade de buscar-se materiais que otorguem maior durabilidade dos procedimentos restauradores com mínimos impactos negativos à estrutura dentinária.

A maior fragilidade atribuída aos dentes despolpados não necessariamente está associada a alterações fisiológicas do tecido dentinário como: desidratação dos túbulos, perda de umidade, diminuição da dureza e módulo de elasticidade (Cheron et al., 2011), mas sim, à perda de estrutura dentária por cáries extensas, fraturas, instrumentação do canal radicular (Sabeti et al., 2018), preparo para retentor (Pilo e Tamse 2000) entre outros. Tal enfraquecimento reflete na diminuição da capacidade destes dentes em suportar cargas intra-orais e de resistir à fratura (Trope, Ray 1992; Sedgley, Messer 1992; Gutmann 1992; Morgano 1996).

Foi reportado na literatura que os pinos/núcleos intrarradiculares utilizados no tratamento de dentes tratados endodonticamente aumentavam e reforçavam a resistência do remanescente dentário, além de proporcionar retenção à futura restauração coronária (Silverstein 1964; Baraban 1970; Standlee et al., 1972; Kantor, Pines 1977; Trabert et al., 1978; Guzy, Nicholls 1979; Deutsch et al., 1983). No entanto, trabalhos posteriores observaram que estes pinos/núcleos não eram capazes de reforçar o dente tratado endodonticamente (Trope et al., 1985; Sorensen, Engelman 1990; Weine et al., 1991; Huang et al., 1992; Assif, Gorfil 1994; Martínez-Insua et al., 1998; Stockton, 1999; Heydecke et al., 2001), mostrando o potencial de enfraquecê-los, já que a concentração de forças oclusais direcionadas no dente em situações de fragilidade radicular apresenta

condições de risco devido a maiores falhas biomecânicas e consequentemente fraturas radiculares (Johnson, Sakumura 1978, Trope et al., 1985; Santos-Filho et al., 2014). Este risco aumenta em casos de remanescentes radiculares fragilizados com canais extremamente alargados e paredes dentinárias delgadas (Lui 1987; Mendoza et al., 1997, Carvalho et al., 2005; Santos-Filho et al., 2014; Junqueira et al., 2017).

Com o objetivo de reinserir à oclusão o dente tratado endodonticamente após termino do tratamento endodôntico, diversos sistemas e materiais para confecção de retentores intrarradiculares tem sido propostos como metais fundidos a base de amalgamas, titânio, cromo-cobalto, Níquel-Cromo, ouro (Bergman et al., 1974, Lovdahl, Nicholls 1977; DeDomenico, 1977; Newman et al., 1981; Liu et al., 2010), cimentos resinosos, resinas compostas (Newman et al., 2003, Marchi et al., 2003), fibra de carbono (Freedman 1996; Dean et al., 1998), fibras de polietileno, fibras de vidro (Pitel, Hicks 2003, Lassila et al., 2004), cerâmicos (Meyenberg et al., 1995, Koutayas, Kern 1999; Oblak et al., 2004), dentina humana (Ambica et al., 2013).

Durante muitos anos, o material de escolha para este tipo de restauração foram os núcleos metálicos fundidos pela falta de opções de materiais no mercado. Entre algumas desvantagens estão a falta de adesividade com o agente cimentante, possibilidade de corrosão, elevada transmissão de estresse à estrutura radicular que pode levar à fratura, dificuldade de remoção se necessário, alto módulo de elasticidade, entre outros (Sirimai et al., 1999; Braga et al., 2006).

Com introdução dos pinos pré-fabricados em fibra de vidro, conseguiu-se o monobloco mecanicamente homogêneo (sistema adesivo, pino, agente cimentante e material de preenchimento) no interior do canal radicular. Todos estes materiais apresentam propriedades físicas semelhantes aos da dentina radicular (Ferrari et al., 2000a; Pegoretti et al., 2002; Newman et al., 2003; Lassila et al., 2004), comportamento mecânico similar ao dente íntegro e ausência de fraturas catastróficas na grande maioria dos casos (Milot, Stein 1992; Ferrari et al., 2000a; Saatian, 2006; Braga et al., 2006).

Em consideração às características desejadas dos materiais usados na restauração radicular do dente tratado endodonticamente, leva-nos à procura

de materiais restauradores mais resistentes e que reproduzam o comportamento biomecânico da estrutura dental perdida.

Num estudo piloto prévio, foi avaliada a ultraestrutura e a resistência flexural de 3 tipos diferentes de pinos (experimental, fibra de vidro e resina nano-híbrida). Foi observado que a resistência à flexão variou de 552 a 870MPa. O pino experimental e o pino de compósito (876 e 830MPa, respectivamente) tiveram resistência à flexão significativamente maior do que o pino de fibra de vidro (720MPa), que mostrou uma resistência à flexão significativamente menor do que todos os outros pinos. Com relação a ultraestrutura dos pinos, os pinos (experimental e compósito) apresentam superfícies lisas e ausência de fibras de vidro.

O Bloco experimental desenvolvido a partir de proporção de 70% de carga orgânica (PEEK), 30% de partículas inorgânicas (dióxido de zircônio e sílica), iniciadores de polimerização, estabilizantes entre outros, apresentou um módulo de elasticidade próximo ao da dentina, e mostrou, neste experimento, ter boa resistência à fratura. Ademais, a possibilidade de ser fresado em CAD/CAM.

Há uma busca constante de adaptação do pino às paredes do canal radicular na tentativa de melhorar a adaptação dos pinos intrarradiculares. Com este objetivo foi proposta a confecção dos pinos anatômicos diretos (Grandini et al., 2003) ou indiretos fresados em CAD/CAM (Liu et al., 2010).

As técnicas de anatomização ou customização do pino permitem uma boa adaptação do retentor no canal radicular, o que possibilita a formação de uma camada fina e uniforme de cimento resinoso, criando condições favoráveis para retenção do pino (Grandini et al., 2005). Além de diminuir o estresse na interface adesiva durante a contração de polimerização (Ishikiriama et al., 2013).

Os casos de dentes tratados endodonticamente com grande perda estrutural necessitam de um meio de retenção intrarradicular, ademais de um material que tenha boa resistência à fratura e que cause mínimos impactos negativos à estrutura radicular. Neste contexto, a pesquisa avaliou a resistência à compressão vertical e o comportamento de fratura em dentes severamente fragilizados com retentores intrarradiculares adaptados ao canal radicular fresados em CAD/CAM.

Após o ensaio de resistência à compressão, os resultados desta pesquisa (Tabela 5.1), mostraram que o Grupo PBE (786.14N) e o Grupo PMF (799.85N) apresentaram a média mas alta de resistência à fratura, que foram estatisticamente semelhantes entre si. Já os grupos PFC (551.06N) e grupo PFA (420.77N) apresentaram significativamente menores valores de resistência. Tal diferença pode ser explicada pela maior dureza do bloco experimental e das ligas metálicas. Os resultados foram também corroborados por Pang et al. (2019) que avaliaram a resistência à fratura de pinos/núcleos fresados em CAD/CAM em dentes anteriores severamente fragilizados, e que concluíram que os retentores fresados em CAD/CAM aumentam significativamente a resistência à fratura de canais radiculares fragilizados quando comparados com núcleos metálicos fundidos e pinos pré-fabricados em fibra de vidro. Eid et al. (2019) também encontraram que pinos/núcleos obtidos de blocos de polímeros de alta densidade fresados em CAD/CAM mostraram um melhor desempenho do que pinos de fibra pré-fabricados em fibra de vidro. Por outro lado, Teixeira et al. (2020) encontraram resistência à fratura comparável do PEEK aos dos pinos de fibra de vidro, mas inferior aos pinos de liga metálica fundida (NiCr).

O grupo PFC, apesar de ter fibra de vidro em sua composição não obteve resistência elevada e quando comparado com os outros materiais (bloco experimental e metálico) fresados em CAD/CAM. Temos que, quando comparado o pino fresado a partir do bloco de fibra de vidro com pinos de fibra de vidro pré-fabricados, os valores foram superiores (Pang et al., 2019; Eid et al., 2019) para o bloco em CAD/CAM e isto pode ser explicado pelo maior conteúdo de fibras de vidro e dureza do bloco.

Esta diferença significativa de resistência pode ser compreendida que apesar da ausência de fibra de vidro, se observa a alta quantidade de carga inorgânica da resina composta. Reagan et al. (1999) atribuíram esta maior resistência da resina composta ao seu baixo módulo de elasticidade que permite uma melhor absorção de impactos durante os testes de fadiga mecânica. O maior volume de material utilizado nos dentes sem remanescente coronário quando comparado aos que possuíam remanescente, pode ter intensificado estas características, e dessa forma, ter resultado em maior resistência.

Os resultados encontrados neste trabalho estão de acordo aos encontrados por Sary et al. (2019) que observaram a resistência à fratura aumentada em dentes fragilizados usando um pino/núcleo de fibra de vidro fresado em CAM/CAM quando comparado com pinos de fibra de vidro pré-fabricados customizados em resina composta, também ressalta que ambos sistemas avaliados diminuem a espessura de cimento resinoso entre o retentor e as paredes do canal radicular pelo fato de estarem bem adaptados.

O objetivo deste trabalho foi analisar a resistência à fratura de diversos pinos/núcleos após o teste de compressão e observar o comportamento de fratura ocorrida após o ensaio. Para isto, alguns fatores como comprimento do pino, tipo de carga incidente, ângulo para aplicação da carga e quantidade de estrutura remanescente foram padronizados.

O ligamento periodontal foi simulado nos espécimes por ser uma estrutura importante que funciona como um amortecedor. Para isto, foi usada uma silicone de moldagem com espessura de 0,3 mm. Caputo et al. (1976) utilizaram em seu estudo silicone, e se mostrou como um bom material para reproduzir as condições do ligamento periodontal, pois permite certa mobilidade ao dente enquanto a carga é aplicada, funcionando como um amortecedor de impactos e impedindo o contato direto da superfície radicular externa radicular com a resina acrílica.

Para realizar a fragilização dos espécimes e rigor metodológico, todas as raízes foram padronizadas igualmente. Para isto, uma sonda milimetrada (Hufriedy, Chicago, USA) foi usada para determinar pontos 1,0 mm a partir do cavossuperficial ao redor de toda a superfície radicular no terço cervical. Após os desgastes intrarradiculares atingir a profundidade de 10 mm (Figura 4.3A) com a finalidade de realizar o alargamento intra-radicular (Figura 4.3B), aferiu-se todas as espessuras das raízes com paquímetro digital (Marchi et al. 2008). Adicionalmente, para confirmar que os desgastes dentinários do espaço para retentor (Figura 4.4A-B) estivessem no padrão metodológico estabelecido, foi realizado um escaneamento por meio de tomografia computadorizada de feixe cônico (Prexion 3D, TeraRecon, San Mateo, California, USA), verificando que as espessuras dentinárias fossem nos terços cervicais de 1 mm e no terço apical do espaço para retentor de 2,5 mm.

A opção pela não utilização de coroas protéticas nos espécimes foi porque poderia ter influenciado nos resultados de resistência à compressão vertical. Portanto, os pinos/núcleos não foram restaurados com coroas para excluir qualquer influência de reforço externo sobre os mesmos, já que a observação direta dos efeitos após o ensaio era necessária (Libman, Nicholls 1995; Clavijo et al., 2009; Ambica et al., 2013; Bilgin et al., 2016; Eid et al., 2019; Teixeira et al., 2020). Peters et al. (1983) avaliando as tensões geradas sobre pinos, núcleos e coroas em dentes tratados endodonticamente, puderam observar em análise dos elementos finitos que a distribuição de tensões quando a carga era aplicada sobre a coroa era a mesma quando a carga era aplicada somente sobre o núcleo. No entanto, a extrapolação para uma situação clínica não pode ser feita sem o uso de coroas.

A aplicação de uma força numa angulação de 45° ao longo eixo do dente foi idealizada com o intuito de simular os tipos de força que ocorrem na oclusão, e que seria uma associação de compressão e cisalhamento (Kantor, Pines 1977; DeSort, 1983; Oliveira et al., 1987; Abadie, 1988). Kantor e Pines (1977) simularam as cargas oblíquas geradas durante a função incisal ou desocclusão da guia anterior. Estes autores foram os primeiros autores a testar núcleos metálicos fundidos com cargas compressivas aplicadas a 45°. Posteriormente, em um padrão normal de oclusão, o ângulo formado entre os dentes anteriores superiores e inferiores é de aproximadamente 135°. Com base nisto, a utilização do teste de compressão dotado de um plano inclinado de 45° em relação ao plano horizontal consagrou-se para avaliação da resistência à fratura de dentes anteriores superiores tratados endodonticamente, uma vez que há uma simulação das condições clínicas do meio intra-oral.

Os materiais usados na reconstrução radicular com alta resistência à fratura não garante que a estrutura radicular remanescente fique protegida de fraturas catastróficas, e uma grande dúvida permanece na literatura sobre como minimizar o impacto na estrutura radicular remanescente após fratura ou fracasso do retentor intrarradicular, e isto fica ainda mais presente em dentes tratados endodonticamente severamente fragilizados. Acontece que o pino não reforça estruturas dentais fragilizadas (Trope et al., 1985; Sorensen, Engelman, 1990; Weine et al., 1991; Huang et al., 1992; Assif e Gorfil 1994; Martínez-

Insua et al., 1998; Stockton, 1999; Heydecke et al., 2001). Isto pode ser explicado que mecanicamente quando uma força é aplicada na face palatina do dente, o apoio é a crista óssea vestibular do rebordo alveolar, e é gerada uma concentração de tensões de compressão na face vestibular do dente (Holmes et al., 1996), e conseqüentemente, há o desenvolvimento de forças de tração na face palatina. Essas forças contrárias são encontradas e anulam-se no centro longitudinal do dente, exatamente onde está instalado o pino intrarradicular. Quanto mais próximo da superfície do dente, maior a magnitude dessas tensões. Quando a carga aplicada sobre o dente ultrapassa o limite de proporcionalidade, pode iniciar-se uma trinca ou fratura. Essa linha de fratura pode se propagar em sentido longitudinal da raiz.

Quando analisamos a localização das fraturas (pino, terço cervical, médio e apical do canal radicular) encontradas em nosso trabalho (tabela 5.2), podemos observar que entre 80% e 100% exibiram um padrão de fratura similar, e estiveram localizadas nos pinos/núcleos e terços cervicais dos canais radiculares para os grupos PBE, PFC e PFA. Isto pode ser explicado levando-se em consideração o módulo de elasticidade do material (PEEK, fibras de vidro, resina compostas, entre outros) usados para confecção do retentor intrarradicular com características similares aos da dentina, o que está de acordo com os trabalhos de Clavijo et al. (2009); Sary et al. (2019); Teixeira et al. (2020). Dados corroborados por Fokkinga et al. (2004) que observaram que em dentes fragilizados, o uso de resina composta e pinos de fibra de vidro pré-fabricados não devolveram ao dente a mesma resistência e concluíram que o uso destes materiais livres de metal podem ser uma forma de restaurar raízes fragilizadas diminuindo o risco de fratura radicular. No grupo PMF, 60% das fraturas estiveram localizadas nos terços médio e 40% no terço apical do canal radicular, e isto pode ser explicado pela alta rigidez da liga metálica e o efeito cunha gerado no remanescente radicular, havendo ocorrência de fraturas mais profundas.

Na análise da possibilidade de reabilitação dos espécimes após fratura (gráfico de barras 5.2). Entre 80% e 100% dos espécimes apresentaram maior frequência de falhas favoráveis, apresentando assim, a possibilidade de reparo, pois, como se pode observar neste estudo, a fratura sempre ocorreu até 1mm abaixo do osso simulado. Em termos clínicos este tipo de fratura é passível de

reabilitação ou reparável. Em contrapartida, o grupo PMF apresentaram falhas desfavoráveis em 100% dos casos. Neste particular, considerando o prognóstico restaurador, fica claro que quanto maior a rigidez do pino/núcleo e perda de tecido dentinário radicular, maior será a ocorrência de fraturas irreparáveis quanto a chance de reabilitação.

O grupo PFA, foi o único grupo que não ocorreu falhas desfavoráveis, e isto pode ser explicado pelo comportamento dos materiais envolvidos, temos que, a resina composta e a dentina radicular não suportaram bem a carga aplicada sendo menos resistentes à fratura. O que ocorreu foi a flexão do terço cervical do pino/núcleo, e conseqüentemente, uma falha adesiva da resina composta deslocando o conjunto pino e resina composta, não causando fratura radicular. Estudos in vitro confirmam as afirmações anteriores, constatando que os pinos de fibra de vidro produzem menor índice de fraturas radiculares quando comparados aos pinos metálicos e núcleos metálicos fundidos (Martinez-Insua et al., 1998; Clavijo et al., 2009; Silva et al., 2011, Tey, Lui 2014). Estudos in vivo alguns trabalhos (Ferrari et al., 2000a,b; Naumann et al., 2012; Sarkis-Onofre et al., 2014) relataram ausência de fratura radicular em dentes restaurados com pinos de fibra de vidro após um período de 2-3 anos e 1-6 anos.

Podemos observar que em dentes severamente fragilizados a indicação de pinos/núcleos com materiais livres de metal é mais segura para que não ocorra fratura radicular e que o tratamento tenha reversibilidade com relação à reabilitação radicular. Os ensaios de resistência à fratura dos materiais fresados em CAD/CAM têm se mostrado satisfatórios quanto à resistência destes pinos/núcleos, suportando bem a carga de compressão, e no caso de falhas, preservando a estrutura radicular.

Na busca por materiais que tenham propriedades similares aos da dentina, e que preservem a estrutura dental fragilizada diminuindo a chance de uma fratura radicular irreversível, os pinos/núcleos livres de metal são os mais indicados, sendo importante ter retenção e adaptação às paredes do canal radicular, e compatibilidade com materiais adesivos formando um corpo único com o remanescente dentário. Os pinos obtidos a partir do bloco experimental e fresados pelo sistema CAD/CAM aqui propostos por este estudo tem boa indicação, pois apresentaram características semelhantes aos da dentina

(módulo de elasticidade e dureza) e se mostraram superiores comparativamente aos pinos em fibra de vidro (fresados e pré-fabricados) nos testes de resistência precisando de maior força média para que a fratura ocorresse. Porém, mais estudos são necessários para se confirmar estes achados, e que possam analisar o comportamento da restauração do dente tratado endodonticamente com uma coroa protética cimentada sobre o pino/núcleo.

7 CONCLUSÕES

Dentro dos limites do presente estudo, de acordo com os objetivos propostos, os resultados obtidos e a análise estatística podemos concluir que:

- Pinos/núcleos fresados a partir do bloco experimental apresentaram valores de resistência à fratura semelhante à dos pinos/núcleos metálicos e maiores que os pinos/núcleos em fibra de vidro (fresados e pré-fabricados) em canais fragilizados.
- Pinos/núcleos fresados em CAD/CAM apresentaram uma maior frequência de fraturas localizadas no pino/núcleo e terços cervicais do remanescente radicular, e consequentemente prognóstico restaurador favorável e passível de reabilitação quando comparados com núcleos metálicos que apresentaram fraturas desfavoráveis e irreparáveis.

REFERÊNCIAS¹

Abadie FR. Cast 'headed' post-cores to resist fracture of endodontically treated anterior teeth. *J Prosthet Dent*. 1988 Dec;60(6):660-1.

Ambica K, Mahendran K, Talwar S, Verma M, Padmini G, Periasamy R. Comparative evaluation of fracture resistance under static and fatigue loading of endodontically treated teeth restored with carbon fiber posts, glass fiber posts, and an experimental dentin post system: an in vitro study. *J Endod*. 2013 Jan;39(1):96-100. *Appl Sci*. 2010 Jan (4);110–22.

Assif D, Gorfil C. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*. 1994 Jun;71(6):565-7.

Baraban DJA. Simplified method for making posts and cores. *J. Prosthet. Dent*. 1970 Sept;24(3):287-97.

Bergman M, Holmlund L, Victorin L. Noble metal alloy wires in cast posts. Mechanical properties and microstructure. *Odontol Revy*. 1974;25(3):273-87.

Bilgin MS, Erdem A, Dilber E, Ersoy İ. Comparison of fracture resistance between cast, CAD/CAM milling, and direct metal laser sintering metal post systems. *J Prosthodont Res*. 2016 Jan;60(1):23-8.

Bonfante G, Kaizer OB, Pegoraro LF, do Valle AL. Tensile bond strength of glass fiber posts luted with different cements. *Braz Oral Res*. 2007 Apr-Jun;21(2):159-64.

Braga NM, Paulino SM, Alfredo E, Sousa-Neto MD, Vansan LP. Removal resistance of glass-fiber and metallic cast posts with different lengths. *J Oral Sci*. 2006 Mar;48(1):15-20.

Caputo AA, Standlee JP. Pins and posts--why, when and how. *Dent Clin North Am*. 1976 Apr;20(2):299-311.

Carvalho CA, Valera MC, Oliveira LD, Camargo CH. Structural resistance in immature teeth using root reinforcements in vitro. *Dent Traumatol*. 2005 Jun;21(3):155-9.

Chan RW, Bryant RW. Post-core foundations for endodontically treated posterior teeth. *J Prosthet Dent*. 1982 Oct;48(4):401-6.

Charlton G. A prefabricated post and core for porcelain jacket crowns. *Br Dent J*. 1965 Nov 16;119(10):452-6.

Cheron RA, Marshall SJ, Goodis HE, Peters OA. Nanomechanical properties of endodontically treated teeth. *J Endod*. 2011 Nov;37(11):1562-5.

¹ De acordo com Estilo Vancouver.

Clavijo VG, Reis JM, Kabbach W, Silva AL, Oliveira Junior OB, Andrade MF. Fracture strength of flared bovine roots restored with different intraradicular posts. *J Appl Oral Sci.* 2009 Nov-Dec;17(6):574-8.

Clavijo VGR. Avaliação da resistência à fratura de raízes fragilizadas reabilitadas por diferentes técnicas de construção de núcleos intra-radiculares [dissertação] [internet]. São Paulo: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Odontologia; 2007.

da Costa RG, Freire A, Caregnatto de Moraes EC, Machado de Souza E, Correr GM, Rached RN. Effect of CAD/CAM glass fiber post-core on cement micromorphology and fracture resistance of endodontically treated roots. *Am J Dent.* 2017 Feb;30(1):3-8.

Dean JP, Jeanson BG, Sarkar N. In vitro evaluation of a carbon fiber post. *J Endod.* 1998 Dec;24(12):807-10.

DeDomenico RJ. Technique for the fabrication of a cast post and core with nonprecious metal. *J Am Dent Assoc.* 1977 Jun;94(6):1139-41.

DeSort KD. The prosthodontic use of endodontically treated teeth: theory and biomechanics of post preparation. *J Prosthet Dent.* 1983 Feb;49(2):203-6.

Deutsch AS, Musikant BL, Cavallari J, Lepley JB. Prefabricated dowels: A literature review. *J Prosthet Dent.* 1983 Apr;49(4):498-503.

Eid R, Juloski J, Ounsi H, Silwaidi M, Ferrari M, Salameh Z. Fracture Resistance and Failure Pattern of Endodontically Treated Teeth Restored with Computer-aided Design/ Computer-aided Manufacturing Post and Cores: A Pilot Study. *J Contemp Dent Pract.* 2019 Jan 1;20(1):56-63.

Falcão Spina DR, da Costa RG, Correr GM, Rached RN. Scanning of root canal impression for the fabrication of a resin CAD-CAM-customized post-and-core. *J Prosthet Dent.* 2018 Aug;120(2):242-5.

Falcão Spina DR, Goulart da Costa R, Farias IC, da Cunha LG, Ritter AV, Gonzaga CC, Correr GM. CAD/CAM post-and-core using different esthetic materials: Fracture resistance and bond strengths. *Am J Dent.* 2017 Dec;30(6):299-304.

Fauchard P. *Le chirurgien dentiste on traité des dents.* 10. ed. Paris: Julien Prêlat; 1946. p.244-56, v.2.

Ferrari M, Vichi A, García-Godoy F. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. *Am J Dent.* 2000a May;13(Spec No):15B-18B.

Ferrari M, Vichi A, Mannocci F, Mason PN. Retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *Am J Dent.* 2000b May;13(Spec No):9B-13B.

Fokkinga WA, Kreulen CM, Vallittu PK, Creugers NH. A structured analysis of in vitro failure loads and failure modes of fiber, metal, and ceramic post-and-core systems. *Int J Prosthodont*. 2004 Jul-Aug;17(4):476-82.

Freedman G. The carbon fibre post: metal-free, post-endodontic rehabilitation. *Oral Health*. 1996 Feb;86(2):23-6, 29-30.

Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Borracchini A, Ferrari M. SEM evaluation of the cement layer thickness after luting two different posts. *J Adhes Dent*. 2005 Autumn;7(3):235-40.

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

Gutmann JL. The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*. 1992 Apr;67(4):458-67.

Guzy GE, Nicholls JL. In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without endo-post reinforcement. *J Prosthet Dent*. 1979 Jul;42(1):39-44.

Harris FL. An efficient one-visit impression technique for gold-post and cast crown fabrication. *Dent Dig*. 1970 Nov;76(11):464-6.

Heydecke G, Butz F, Strub JR. Fracture strength and survival rate of endodontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restoration with different post and core systems: an in-vitro study. *J Dent*. 2001 Aug;29(6):427-33.

Holmes DC, Diaz-Arnold AM, Leary JM. Influence of post dimension on stress distribution in dentin. *J Prosthet Dent*. 1996 Feb;75(2):140-7.

Huang TJ, Schilder H, Nathanson D. Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. *J Endod*. 1992 May;18(5):209-15.

Ishikiriama SK, Maenosono RM, Oda DF, Ordóñez-Aguilera JF, Wang L, Mondelli RF. Influence of volume and activation mode on polymerization shrinkage forces of resin cements. *Braz Dent J*. 2013;24(4):326-9.

Johnson JK, Sakumura JS. Dowel form and tensile force. *J Prosthet Dent*. 1978 Dec;40(6):645-9.

Johnston J. F. *Crown and bridge prosthodontics*. 2.ed. Philadelphia, Saunders, 1965. p.531-5.

Junqueira RB, de Carvalho RF, Marinho CC, Valera MC, Carvalho CAT. Influence of glass fibre post length and remaining dentine thickness on the fracture resistance of root filled teeth. *Int Endod J*. 2017 Jun;50(6):569-577.

Kantor ME, Pines MSA. Comparative study of restorative techniques for pulpless teeth. *J. Prosthet. Dent*. 1977 Oct;38(4):405-12.

Kaya BM, Ergun G. The effect of post length and core material on root fracture with respect to different post materials. *Acta Odontol Scand*. 2013 Sep;71(5):1063-70.

Koutayas SO, Kern M. All-ceramic posts and cores: the state of the art. *Quintessence Int*. 1999 Jun;30(6):383-92.

Kubo M, Komada W, Otake S, Inagaki T, Omori S, Miura H. The effect of glass fiber posts and ribbons on the fracture strength of teeth with flared root canals restored using composite resin post and cores. *J Prosthodont Res*. 2018 Jan;62(1):97-103.

Lassila LV, Tanner J, Le Bell AM, Narva K, Vallittu PK. Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. *Dent Mater*. 2004 Jan;20(1):29-36.

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

Liu P, Deng XL, Wang XZ. Use of a CAD/CAM-fabricated glass fiber post and core to restore fractured anterior teeth: A clinical report. *J Prosthet Dent*. 2010 Jun;103(6):330-3.

Liu R, Xi SQ, Kapoor S, Wu XJ. Effects of chemical composition on solidification, microstructure and hardness of co-Cr-W-Ni and Co-Cr-Mo-Ni alloy systems. *Int J Rev*

Lovdahl PE, Nicholls JL. Pin-retained amalgam cores vs. cast-gold dowel-cores. *J Prosthet Dent*. 1977 Nov;38(5):507-14.

Lui JL. A technique to reinforce weakened roots with post canals. *Endod Dent Traumatol*. 1987 Dec;3(6):310-4.

Lui JL. Composite resin reinforcement of flared canals using light-transmitting plastic posts. *Quintessence Int*. 1994 May;25(5):313-9.

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

Marchi GM. Resistência à fratura de raízes debilitadas reconstruídas morfológicamente com sistema adesivo e pinos intra-radiculares [dissertação] [internet]. São Paulo: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba; 1997.

Markley MR. Pin reinforcement and retention of amalgam foundations and restorations. *J Am Dent Assoc*. 1958 May;56(5):675-9.

Martínez-Insua A, da Silva L, Rilo B, Santana U. Comparison of the fracture resistances of pulpless teeth restored with a cast post and core or carbon-fiber post with a composite core. *J Prosthet Dent*. 1998 Nov;80(5):527-32.

Mendoza DB, Eakle WS, Kahl EA, Ho R. Root reinforcement with a resin-bonded preformed post. *J Prosthet Dent*. 1997 Jul;78(1):10-4.

Meyenberg KH, Lüthy H, Schärer P. Zirconia posts: a new all-ceramic concept for nonvital abutment teeth. *J Esthet Dent*. 1995;7(2):73-80.

Milot P, Stein RS. Root fracture in endodontically treated teeth related to post selection and crown design. *J Prosthet Dent*. 1992 Sep;68(3):428-35.

Morgano SM. Restoration of pulpless teeth: application of traditional principles in present and future contexts. *J Prosthet Dent*. 1996 Apr;75(4):375-80.

Naumann M, Koelpin M, Beuer F, Meyer-Lueckel H. 10-year survival evaluation for glass-fiber-supported postendodontic restoration: a prospective observational clinical study. *J Endod*. 2012 Apr;38(4):432-5.

Newman MP, Yaman P, Dennison J, Rafter M, Billy E. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. *J Prosthet Dent*. 2003 Apr;89(4):360-7.

Newman S, Chamberlain RT, Nunez LJ. Nickel solubility from nickel-chromium dental casting alloys. *J Biomed Mater Res*. 1981 Jul;15(4):615-7.

Oblak C, Jevnikar P, Kosmac T, Funduk N, Marion L. Fracture resistance and reliability of new zirconia posts. *J Prosthet Dent*. 2004 Apr;91(4):342-8.

Oliveira Fde C, Denehy GE, Boyer DB. Fracture resistance of endodontically prepared teeth using various restorative materials. *J Am Dent Assoc*. 1987 Jul;115(1):57-60.

Pang J, Feng C, Zhu X, Liu B, Deng T, Gao Y, Li Y, Ke J. Fracture behaviors of maxillary central incisors with flared root canals restored with CAD/CAM integrated glass fiber post-and-core. *Dent Mater J*. 2019 Feb 8;38(1):114-9.

Passos L, Barino B, Laxe L, Street A. Fracture resistance of single-rooted pulpless teeth using hybrid CAD/CAM blocks for post and core restoration. *Int J Comput Dent*. 2017;20(3):287-301.

Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, Bianchetti M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. *Biomaterials*. 2002 Jul;23(13):2667-82.

Perel ML, Muroff FI. Clinical criteria for posts and cores. *J Prosthet Dent*. 1972 Oct;28(4):405-11.

Peters MC, Poort HW, Farah JW, Craig RG. Stress analysis of a tooth restored with a post and core. *J Dent Res*. 1983 Jun;62(6):760-3.

Pilo R, Tamse A. Residual dentin thickness in mandibular premolars prepared with gates glidden and ParaPost drills. *J Prosthet Dent*. 2000 Jun;83(6):617-23.

Reagan SE, Fruits TJ, Van Brunt CL, Ward CK. Effects of cyclic loading on selected post-and-core systems. *Quintessence Int*. 1999 Jan;30(1):61-7.

Rosen H. Operative procedures on mutilated endodontically treated teeth. *J Prosth Dent.* 1961 Jan;11(4):973-86.

Saatian S. Fracture strength of endodontically treated teeth restored with casting post and core and glass-fiber with composite core. *Iran Endod J.* 2006 Summer;1(2):65-8.

Sabeti M, Kazem M, Dianat O, Bahrololumi N, Beglou A, Rahimipour K, Dehnavi F. Impact of Access Cavity Design and Root Canal Taper on Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth: An Ex Vivo Investigation. *J Endod.* 2018 Sep;44(9):1402-06.

Santos-Filho PC, Veríssimo C, Raposo LH, Noritomi MecEng PY, Marcondes Martins LR. Influence of ferrule, post system, and length on stress distribution of weakened root-filled teeth. *J Endod.* 2014 Nov;40(11):1874-8.

Sarkis-Onofre R, Jacinto RC, Boscato N, Cenci MS, Pereira-Cenci T. Cast metal vs. glass fibre posts: a randomized controlled trial with up to 3 years of follow up. *J Dent.* 2014 May;42(5):582-7.

Sary S B, Samah M S, Walid A AZ. Effect of restoration technique on resistance to fracture of endodontically treated anterior teeth with flared root canals. *J Biomed Res.* 2019 Apr 22;33(2):131-8.

Saupe WA, Gluskin AH, Radke RA Jr. A comparative study of fracture resistance between morphologic dowel and cores and a resin-reinforced dowel system in the intraradicular restoration of structurally compromised roots. *Quintessence Int.* 1996 Jul;27(7):483-91.

Sedgley CM, Messer HH. Are endodontically treated teeth more brittle? *J Endod.* 1992 Jul;18(7):332-5.

Silva GR, Santos-Filho PC, Simamoto-Júnior PC, Martins LR, Mota AS, Soares CJ. Effect of post type and restorative techniques on the strain and fracture resistance of flared incisor roots. *Braz Dent J.* 2011;22(3):230-7.

Silverstein WH. The reinforcement of weakened pulpless teeth. *J Prosthet Dent.* 1964 Sept;14(3):372-81.

Sirimai S, Riis DN, Morgano SM. An in vitro study of the fracture resistance and the incidence of vertical root fracture of pulpless teeth restored with six post-and-coresystems. *J Prosthet Dent.* 1999 Mar;81(3):262-9.

Smith CT, Schuman NJ, Wasson W. Biomechanical criteria for evaluating prefabricated post-and-core systems: a guide for the restorative dentist. *Quintessence Int.* 1998 May;29(5):305-12.

Sorensen JA, Engelman MJ. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent.* 1990 May;63(5):529-36.

Standlee JP, Caputo AA, Collard EW, Pollack MH. Analysis of stress distribution by endodontic posts. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1972 Jun;33(6):952-60.

Stockton LW. Factors affecting retention of post systems: a literature review. *J Prosthet Dent*. 1999 Apr;81(4):380-5.

Sugano K, Komada W, Okada D, Miura H. Evaluation of composite resin core with prefabricated polyetheretherketone post on fracture resistance in the case of flared root canals. *Dent Mater J*. 2020 Jun 26.doi: 10.4012/dmj.2019-153.

Teixeira KN, Duque TM, Maia HP, Gonçalves T. Fracture Resistance and Failure Mode of Custom-made Post-and-cores of Polyetheretherketone and Nano-ceramic Composite. *Oper Dent*. 2020 Feb 26. doi: 10.2341/19-080-L.

Tey KC, Lui JL. The effect of glass fiber-reinforced epoxy resin dowel diameter on the fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthodont*. 2014 Oct;23(7):572-81.

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):496-0.

Trabert KC, Caput AA, Abou-Rass M. Tooth fracture--a comparison of endodontic and restorative treatments. *J Endod*. 1978 Nov;4(11):341-5.

Trope M, Maltz DO, Tronstad L. Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol*. 1985 Jun;1(3):108-11.

Trope M, Ray HL Jr. Resistance to fracture of endodontically treated roots. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1992 Jan;73(1):99-102.

Valdivia JE, Machado MEL. Ultrasonic wave of obturation by segmented technique. *Full Dent Sci*. 2018 May;9(35):135-43.

Weine FS, Wax AH, Wenckus CS. Retrospective study of tapered, smooth post systems in place for 10 years or more. *J Endod*. 1991 Jun;17(6):293-7.

Zhou WM, Huang GW. Fracture resistance of thin-walled teeth restored with different post and core materials. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue*. 2014 Jun;23(3):312-6.

Zicari F, Van Meerbeek B, Scotti R, Naert I. Effect of fibre post length and adhesive strategy on fracture resistance of endodontically treated teeth after fatigue loading. *J Dent*. 2012 Apr;40(4):312-21.

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.

APÊNDICE A – Resultados tabulados do teste de resistência à fratura (N)

RESISTÊNCIA À FRATURA: VALORES EXPRESSADOS EM NEWTON (N)			
Grupo PBE	Resistência à carga (N)	Grupo PFA	Resistência à carga (N)
1	838,81	1	406,63
2	720,68	2	395,91
3	745,74	3	401,78
4	819,61	4	390,63
5	731,53	5	404,21
6	602,45	6	391,57
7	776,98	7	499,46
8	806,27	8	416,91
9	933,87	9	479,22
10	885,43	10	421,37
Grupo PFC	Resistência à carga (N)	Grupo PMF	Resistência à carga (N)
1	560,16	1	847,21
2	532,24	2	710,88
3	588,81	3	780,44
4	614,83	4	801,06
5	465,53	5	747,35
6	591,57	6	791,57
7	499,46	7	829,46
8	516,91	8	856,91
9	679,22	9	912,22
10	461,87	10	721,37

APÊNDICE B – Curvas gráficas do ensaio de resistência à fratura

End of Test: Criteria	Rate of compressive load
End of Test: Criteria 2	Extension
End of Test: End of Test 2	False
Export Raw Data: Export raw data	True

Specimen 1 to 1

Specimen #
1

Specimen 2 to 2

Specimen #
2

APÊNDICE C – Tipos de fraturas e localização ocorridas nos espécimes após o ensaio mecânico

Tipo de fratura e localização após ensaio			
Grupo PBE		Grupo PFA	
1	Desfavorável / Radicular T/M	1	Favorável / Pino
2	Favorável / Pino	2	Favorável / Radicular T/C
3	Favorável / Pino	3	Favorável / Pino
4	Favorável / Pino	4	Favorável / Pino
5	Favorável / Radicular T/C	5	Favorável / Pino
6	Favorável / Radicular T/C	6	Favorável / Pino
7	Favorável / Pino	7	Favorável / Radicular T/C
8	Favorável / Radicular T/C	8	Favorável / Radicular T/C
9	Desfavorável / Radicular T/M	9	Favorável / Radicular T/C
10	Favorável / Radicular T/C	10	Favorável / Pino
Grupo PFC		Grupo PMF	
1	Favorável / Pino	1	Desfavorável / Radicular T/A
2	Favorável / Radicular T/C	2	Desfavorável / Radicular T/M
3	Favorável / Radicular T/C	3	Desfavorável / Radicular T/A
4	Favorável / Pino	4	Desfavorável / Radicular T/M
5	Desfavorável / Radicular T/M	5	Desfavorável / Radicular T/A
6	Favorável / Pino	6	Desfavorável / Radicular T/M
7	Favorável / Radicular T/C	7	Desfavorável / Radicular T/M
8	Favorável / Radicular T/C	8	Desfavorável / Radicular T/M
9	Desfavorável / Radicular T/M	9	Desfavorável / Radicular T/M
10	Favorável / Pino	10	Desfavorável / Radicular T/A

ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: Análise da biomecânica e resistência à fratura de dentes tratados endodonticamente restaurados com um pino experimental: Estudo por elementos finitos baseado em microtomografia computadorizada

Pesquisador: JOSE EDGAR VALDIVIA CARDENAS

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 90168518.2.0000.0075

Instituição Proponente: Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.745.552

Apresentação do Projeto:

De acordo com informações cedidas pelos autores, a recuperação estrutural de um dente despolpado, torna-se muito importante para garantir sucesso à futura restauração. Neste contexto, o dente despolpado enfraquece devido alterações que ocorrem em sua estrutura, pois se entende que sofreu uma modificação em sua arquitetura e morfologia, tornando-o mais frágil devido a perda de estrutura dentária por cárie, preparos e extensão cavitária, ficando susceptível à fraturas radiculares. Pesquisas utilizando elementos finitos podem contribuir para trazer novos conhecimentos na área.

Objetivo da Pesquisa:

Avallar o comportamento biomecânico de dentes tratados endodonticamente restaurados com um pino proposto e pinos intra-radulares customizados às paredes do canal radicular por meio de análise por elementos finitos e resistência à fratura.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: Os riscos são mínimos passíveis de prevenção pois trata-se de um trabalho IN VITRO com dentes extraídos do Biobanco da FOU SP, desta maneira preservando a confidencialidade dos dados.

Benefícios: Como benefício esta pesquisa poderá contribuir com os objetivos do trabalho.

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 05.508-900
UF: SP **Município:** SÃO PAULO
Telefone: (11)3091-7960 **Fax:** (11)3091-7814 **E-mail:** cepfo@usp.br

USP - FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO

Continuação do Parecer: 2.745.552

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa de alta relevância e bem descrita.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos foram apresentados: Autorização do banco de dentes, projeto completo, Informações Básicas do Projeto, Folha de rosto.

Recomendações:

Tendo em vista a legislação vigente, devem ser encaminhados ao CEP-FOUSP relatórios parciais anuais referentes ao andamento da pesquisa e relatório final, utilizando-se da opção "Enviar Notificação" (descrita no Manual "Submeter Notificação", disponível na Central de Suporte - canto superior direito do site www.saude.gov.br/plataformabrasil).

Qualquer alteração no projeto original deve ser apresentada "emenda" a este CEP, de forma objetiva e com justificativas para nova apreciação.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há pendências.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_P ROJETO_1117813.pdf	22/05/2018 22:32:19		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto2018docx.docx	22/05/2018 22:32:01	JOSE EDGAR VALDIVIA CARDENAS	Aceito
Declaração de Manuseio Material Biológico / Biorepositório / Biolanco	restfbiobancopdf.pdf	08/05/2018 19:02:31	JOSE EDGAR VALDIVIA CARDENAS	Aceito
Folha de Rosto	folharostopdf.pdf	08/05/2018 09:24:09	JOSE EDGAR VALDIVIA CARDENAS	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227
Bairro: Cidade Universitária CEP: 05.508-900
UF: SP Município: SÃO PAULO
Telefone: (11)3091-7990 Fax: (11)3091-7814 E-mail: cepfo@usp.br

USP - FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO

Continuação do Parecer: 2.745.552

Não

SÃO PAULO, 29 de Junho de 2018

Assinado por:
Maria Gabriela Haye Blazevic
(Coordenador)

Endereço: Av Prof Lineu Prestes 2227
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 05.508-900
UF: SP **Município:** SÃO PAULO
Telefone: (11)3091-7960 **Fax:** (11)3091-7814 **E-mail:** cepfo@usp.br