

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Juliana Arisi Medeiros

**IFLUÊNCIA DE UMA NOVA PASTA OBTURADORA
PARA DENTES DECÍDUOS NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DA DENTINA RADICULAR**

Passo Fundo

2024

Juliana Arisi Medeiros

**INFLUÊNCIA DE UMA NOVA PASTA OBTURADORA
PARA DENTES DECÍDUOS NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DA DENTINA RADIULAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da UPF, para obtenção do título de Doutor em Odontologia – Área de Concentração em Clínica Odontológica, sob orientação do prof. Dr. **Matheus Albino Souza** e co-orientação do profa. Dra. **Juliane Bervian**.

Passo Fundo

2024

Folha reservada para
Ata de aprovação da Banca Examinadora

Observação:

Mantenha esta página no seu arquivo, imprimindo-a.
Após, faça a substituição pela Ata de aprovação fornecida pela
Secretaria para manter a correta numeração do seu trabalho.

Folha reservada para
Ata de aprovação da Banca Examinadora

Observação:

Mantenha esta página no seu arquivo, imprimindo-a.
Após, faça a substituição pela Ata de aprovação fornecida pela
Secretaria para manter a correta numeração do seu trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Juliana Arisi Medeiros

Filiação: Anildo Medeiros
Elaine de Fátima Arisi Medeiros

Nascimento: 17 de dezembro de 1991

2012-2017 Curso de Graduação em Odontologia na
Faculdade de Odontologia - Universidade de Passo Fundo -
UPF.

2018-2019 Curso de Pós-Graduação em Clínica
Odontológica com Ênfase em Materiais Dentários, nível Mestrado,
na
Universidade de Passo Fundo – UPF.

2020-2022 Curso de Especialização em
Odontopediatria, no Instituto Odontológico das Américas – IOA.

2022-2024 Curso de Pós-Graduação em Clínica
Odontológica, nível Doutorado, na Faculdade de Odontologia da
Universidade de Passo Fundo – UPF.

Atuação Profissional

2017-2023 Cirurgiã-Dentista na Clínica OdontoPlus,
em Palmeira das Missões, RS.

2020-2022 Professora no Curso de Odontologia na
UCEFF, unidade de Itapiranga, SC.

2021-2023 Servidora Pública do Estado do Rio
Grande do Sul, como professora no Curso de Técnico em Saúde
Bucal, na cidade de Palmeira das Missões.

2022-atual Professora convidada nos Cursos de
Especialização em Odontopediatria e Endodontia da Universidade
de Passo Fundo, RS.

2023-atual Odontopediatra na Clínica Coutinho, em
São Paulo, SP.

2023-atual Odontopediatra na Clínica Atelier Bucal,
em São Paulo, SP.

AGRADECIMENTOS

Agradecer, primeiramente, *a Deus* por me guiar nesta jornada.

Aos meus pais, Anildo e Elaine, que por muitas vezes abdicaram de seus próprios sonhos para que eu pudesse realizar os meus. Obrigada pelo incentivo que sempre me deram para correr atrás dos meus objetivos. Vocês são a base de tudo. Essa conquista eu dedico a vocês.

A minha irmã, Raquel, que sempre demonstrou apoio e me motivou em cada etapa da minha vida. Obrigada por tudo, mana.

Ao meu esposo, Adriano, que sempre me incentiva em cada novo passo da minha vida. Obrigada por ser meu apoio diário em todos os bons momentos e, também, nos difíceis.

A Maria Helena, minha filha, que chegou ao mundo há tão pouco tempo, mas o suficiente para ser minha maior inspiração. Todo esforço e toda conquista é por você.

A toda minha família, avó, tios, primos, afilhados, que acompanharam essa jornada e sempre me incentivaram a correr atrás dos meus objetivos.

As minhas amigas, que estão comigo desde a infância, sempre vibrando comigo em cada conquista.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Matheus Albino Souza, pelo convite em realizar essa importante pesquisa, unindo Endodontia e Odontopediatria. Obrigada pela paciência, pelo apoio e pelo suporte em cada etapa desse trabalho, sempre disposto a me ajudar e me passando segurança para que tudo fosse executado de forma tranquila. Obrigada professor, admiro muito sua trajetória na área científica e como docente da nossa instituição.

A minha coorientadora, Profa. Dra. Juliane Bervian, que me deu suporte na execução das etapas e me incentivou a ir apresentar esse trabalho a comunidade científica através de congressos. Além disso, sempre foi uma inspiração dentro da odontopediatria.

Aos meus coorientandos, Pedro e Bernardo, sempre dedicados e comprometidos em participar das etapas laboratoriais, confiando em mim em ajuda-los execução dos seus trabalhos de conclusão de curso.

A Profa. Dra. Charise Bertol, do curso de Farmácia, que não só me auxiliou na manipulação da Pasta Experimental, como também participou da sua elaboração no estudo prévio.

A *Dra. Janessa Engelmann*, ex-aluna do PPG Odonto, idealizadora da Pasta Experimental, que me deu base e suporte teórico para iniciar essa pesquisa.

Aos *alunos do PPG Odonto, Letícia, Ulisses, Renan, João, Rafaela e Karoline*, que estiveram comigo nas etapas laboratoriais, prestando todo suporte necessário na utilização das máquinas de ensaios.

A *todos os meus colegas do Doutorado, Vic, Gabi, Henrique, Leti, Jhonatan e Dora*, por dividirem essa jornada, tornando-a leve e divertida. Orgulho de todos vocês.

As *secretárias do PPG Odonto, Fabi e Ale*, sempre muito queridas e dispostas em resolver as demandas dos alunos.

A *todos os professores da Odonto UPF*, que há 10 anos são minha referência como docentes. É uma honra ter sido aluna de todos. Enquanto docente, espero poder reproduzir aos meus alunos todo o conhecimento e valores que aprendi na minha trajetória dentro da instituição, durante a graduação, o mestrado e o doutorado.

A *minha psicóloga*, que foi indispensável na minha caminhada, me direcionando e me orientando nas melhores escolhas.

A *toda equipe OdontoPlus*, minha equipe maravilhosa, que foi minha família desde a conclusão da minha graduação, que me abriu portas para poder executar uma odontologia com qualidade e acolhimento. E,

que além disso, sempre me deu autonomia e me cedeu espaço para executar etapas das minhas pesquisas de Mestrado e Doutorado. Uma equipe que sempre me incentivou e me apoiou muito na busca dos meus objetivos. Muito obrigada a todos os profissionais da OdontoPlus Palmeira das Missões, vocês são parte da minha história.

As clínicas que me receberam tão bem na minha transição para São Paulo: Janelinha Odontopediatria, Clínica Coutinho, JOS Odontologia e Atelier Bucal. Agradeço pela recepção e acolhimento. Agradeço também por cederem espaço a mim para finalizar etapas da minha pesquisa, estando longe dos laboratórios da UPF.

A todos os meus pacientes, que são o combustível do meu trabalho, me tornando incansável em entregar o meu melhor a todos. Obrigada a todas as famílias que confiam a mim a saúde bucal de seus filhos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	15
LISTA DE FIGURAS	16
LISTA DE ABREVIATURAS.....	18
RESUMO	22
ABSTRACT	24
1 INTRODUÇÃO	26
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	29
3 PROPOSIÇÃO	95
3 MATERIAIS E MÉTODOS	96
4 RESULTADOS	115
5 DISCUSSÃO	119
6 CONCLUSÃO	132
REFERÊNCIAS	134
ARTIGO I	167

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Divisão dos grupos experimentais de acordo com as substâncias utilizadas no Teste de Microdureza: 102

Tabela 2: Média (desvio padrão) dos valores de microdureza da dentina radicular após protocolos testados. 115

Tabela 3: Média (desvio padrão) dos valores de resistência flexural da dentina radicular após protocolos testados. 116

Tabela 4: Média (desvio padrão) dos valores de resistência à fratura da dentina radicular após protocolos testados..... 117

Tabela 5: Média (desvio padrão) dos valores de resistência coesiva da dentina radicular após protocolos testados. 118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Limpeza dos dentes bovinos com curetas de periodontia.	97
Figura 2: Componentes da Pasta Experimental.	98
Figura 3: Clivagem das raízes dos dentes bovinos.	99
Figura 4: Raízes clivadas e fixadas com a porção dentinária exposta, em cano PVC com resina acrílica.	100
Figura 5: Amostras sendo lixadas com lixas abrasivas. ..	101
Figura 6: Lavagem das amostras em cuba ultrassônica. .	101
Figura 7(A-D): A) Pasta Experimental; B) Ultracal; C) OZE; D) Feapex	103
Figura 8: Teste de Microdureza em microdurômetro Vickers	104
Figura 9: Remoção das coroas com disco de carborundum.	105
Figura 10: Amostras transformadas em palito de dentina.	106
Figura 11: Imersão de amostra do grupo controle em soro fisiológico.....	107
Figura 12: Teste de resistência flexural, utilizando um dispositivo de três pontos em máquina de ensaios universais. ..	107

Figura 13: Amostras com espessura interna em todas as faces de 1mm.....	109
Figura 14 (A-B): A) Inserção de Ultracal no canal radicular; B) Com auxílio de uma lima, inserção da Pasta Experimental no canal radicular.	110
Figura 15: Teste de resistência à fratura em máquina de ensaios universais.....	111
Figura 16 (A-F): A) Dente bovino limpo e pronto para o corte; B) Remoção da porção coronária; C) Corte ao longo eixo da raiz, transformando em dois fragmentos radiculares; D) Marcação perpendicular ao longo eixo; E) Corte perpendicular ao longo eixo do das porções radiculares, formando 4 fragmentos; F) Formatação final das amostras, em forma de ampulheta.	112
Figura 17: Teste de Resistência Coesiva em máquina de ensaios universais EMIC.	114
Figura 18: Endurecimento da pasta de óxido de zinco e eugenol em amostra de teste de resistência coesiva, após 21 dias de imersão.	127
Figura 19: Pasta Experimental com características físicas estáveis após 297 dias de manipulação.....	130

LISTA DE ABREVIATURAS

Ca(OH)₂ – Hidróxido de Cálcio

CXH – Clorexidina

BaSO₄ – Sulfato de Bário

CH – Hidróxido de cálcio

NCH – Nanocálcio

MTAP – Pasta antibiótica triplo modificada

TAP – Pasta Triplo Antibiótico

NaOCl – Hipoclorito de sódio

ZOE – óxido de zinco e eugenol

RMGIC – cimento de ionômero de vidro modificado por resina

SSC – coroas de aço inoxidável

GIC – Cimento de ionômero de vidro

BD – Biodentina

HK – Valor de Dureza de Knoop

FBS – Soro Fetal Bovino

PBS – Solução Salina de Fosfato

MTA – agregado de trióxido mineral

IRM – Materiais Restauradores Intermediários

CHG – Gluconato de Clorexidina

NaF – Fluoreto de Sódio

EDTA – ácido tetra-acético de etilenodiamina
PLGA – Poly(D,L-lactic-co-glycolide)
PMMA – cimento ósseo de polimetilmetacrilato
TC – Tomografia Computadorizada
CEM – cimento de mistura enriquecido com cálcio
ET – dentes tratados endodonticamente
NT – dentes não tratados endodonticamente
AS – ascorbato de sódio
PA – ácido fosfórico
ABA – atividade antibacteriana
Ra – rugosidade superficial
FS – força flexural
SL – solubilidade
ZP – fosfato de zinco
PC – policarboxilato de zinco
CT – diacetate de clorexidina
SM – Streptococcus mutans
LB – Lactobacillus casei (LB)
DB – Barras de dentina
DDW – água destilada/desionizada
PO4 – íons de fosfato
Ca – íons de cálcio
aPDT – terapia fotodinâmica antimicrobiana
VFRs – retentores formados a vácuo

UFD – diamante ultrafino
DC – grau de conversão
MPa – megapascal
GPa – Gigapascal
MTFS – força da fratura de microtração
 μ TBS – força de ligação
KL – Kerr Life
KB – Ketac Bond
VB – Vitrebond
DY – Dycal
PB – Prime&Bond NT
PA – proantocianidina
BS – força de ligação
SEM – microscopia eletrônica de varredura
ER – Etch-and-rinse
SE – auto-etch
IC – intervalo de confiança
ISO – International Organization for Standardization
CS – força coesiva
WS – sorção de água
ICM – medicação intracanal de hidróxido de cálcio
N – carga
CR – materiais de resina composta
PBS – solução salina tamponada com fosfato de Ca e Mg

PTA – metronidazol, ciprofloxacina e minociclina

GSE – extrato de semente de uva

Ca(Cl)₂ – hipoclorito de cálcio

DAP – pasta de antibiótico duplo

CTZ – pasta antibiótica cloranfenicol, tetraciclina e óxido de zinco-eugenol

HICA – ácido 2-hidroxiisocapróico

TENI - Tratamento Endodôntico Não Instrumentação

RESUMO¹

O objetivo do presente estudo foi avaliar a influência de uma nova pasta obturadora para dentes decíduos nas propriedades mecânicas da dentina radicular. Cento e trinta dentes bovinos foram obtidos por meio de animais abatidos para fins comerciais, sendo 50 utilizados para a avaliação de microdureza, 15 para resistência flexural, 15 para resistência coesiva e 50 para resistência à fratura. As raízes foram preparadas de acordo com as características e os padrões necessários para a realização de cada teste proposto. As amostras foram distribuídas aleatoriamente e ficaram imersas em 21 dias, em 5 grupos, de acordo com o material utilizado para a obturação de dentes decíduos: G1 - soro fisiológico (controle); G2 – Pasta Experimental; G3 – pasta de hidróxido de cálcio; G4 – pasta de óxido de zinco e eugenol; G5 – pasta iodoformada. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente com um teste específico para cada um dos experimentos. A influência dos tratamentos propostos na microdureza da dentina radicular foi avaliada por meio de

¹ Juliana Arisi Medeiros

microdurômetro Vickers e nas demais propriedades mecânicas da dentina radicular por meio de máquina de ensaios universal. De acordo com os resultados, não houve diferença estatística entre os grupos de estudo nos testes de microdureza, resistência flexural e resistência à fratura. Já em relação ao teste de resistência coesiva, o grupo controle apresentou o melhor resultado, seguido do grupo de amostras imersas na Pasta Experimental. Pode-se concluir que as amostras testadas com a Pasta Experimental obtiveram bom comportamento mecânico nos testes realizados. Entre os grupos testados, não houve diferença estatística nos testes de microdureza, resistência flexural e resistência à fratura. Além disso, a Pasta Experimental parece não influenciar a resistência coesiva da dentina radicular.

Palavras chave: dentes decíduos, dentina radicular, pasta obturadora, propriedades mecânicas.

ABSTRACT²

The objective of this study was to evaluate the influence of a new filling paste for deciduous teeth on the mechanical properties of root dentin. One hundred and thirty bovine teeth were obtained from animals slaughtered for commercial purposes, with 50 used for microhardness evaluation, 15 for flexural strength, 15 for cohesive strength, and 50 for fracture resistance. The roots were prepared according to the necessary characteristics and standards for each proposed test. The samples were randomly distributed and immersed for 21 days in 5 groups, according to the material used for filling deciduous teeth: G1 - physiological saline (control); G2 – Experimental Paste; G3 – calcium hydroxide paste; G4 – zinc oxide and eugenol paste; G5 – iodoform paste. The results obtained were statistically analyzed using a specific test for each of the experiments. The influence of the proposed treatments on the microhardness of root dentin was evaluated using a Vickers microhardness tester, and the other mechanical properties of root dentin were evaluated using a universal testing machine.

² Influence of a new filling paste for primary teeth on the mechanical properties of radiular dentin

According to the results, there was no statistical difference between the study groups in the tests for microhardness, flexural strength, and fracture resistance. In relation to the cohesive strength test, the control group showed the best result, followed by the group of samples immersed in the Experimental Paste. It can be concluded that the samples tested with the Experimental Paste exhibited good mechanical behavior in the tests conducted. Among the tested groups, there was no statistical difference in the microhardness, flexural strength, and fracture resistance tests. Additionally, the Experimental Paste does not seem to influence the cohesive strength of root dentin.

Keywords: deciduous teeth, root dentin, filling paste, mechanical properties.

1 INTRODUÇÃO

O tratamento endodôntico em dentes decíduos pode ser indicado em casos de dentes com vitalidade pulpar ou necrose pulpar (Assed et al., 2005; Nelson et al., 2018), em decorrência de traumatismos dentários e lesões de cárie profundas (AAPD, 2018). A preservação do dente lesado pode ser o melhor tratamento para a manutenção da saúde bucal geral, espaço, crescimento e integridade da arcada (AAPD, 2016). Além disso, a perda precoce de dentes decíduos pode afetar negativamente a aparência e o funcionamento oral da criança (Nadelman *et al*, 2020). Por isso, nestes casos, é imprescindível a remoção do tecido pulpar radicular irreversivelmente inflamado ou infectado, a limpeza do sistema de canais radiculares utilizando soluções irrigadoras e substâncias químicas auxiliares que sejam compatíveis, e, ainda, a etapa de obturação com um material adequado para a finalização do tratamento endodôntico (Thomaz et al., 1994; Lopes e Siqueira, 2004; Cassol et al., 2019).

Apesar dos materiais já existentes, não há nenhum que respeite todos os requisitos desejáveis para um material obturador

satisfatório, tais como: ser reabsorvível, radiopaco, bactericida, não contrair, promover adequado preenchimento e aderência às paredes dos canais radiculares, ser facilmente removido quando necessário, quando extravasado não provocar danos aos tecidos periapicais e ao desenvolvimento do germe do dente permanente, não causar alteração da coloração das estruturas dentárias, especialmente em dentes anteriores, e, ainda, não interferir nas propriedades mecânicas da dentina radicular (Mass e Zilberman, 1989; Kubota et al., 1992; Mortazavi e Mesbahi, 2004; Jung-Wei e Fuks, 2008; Pinto et al., 2011; Jung e Monserrat, 2012; Kazandag et al., 2016).

Diante do exposto, se torna necessária a busca por um novo material para obturação de dentes decíduos, alternativo as pastas já comercializadas, que seja eficaz e seguro nos seus propósitos, além de não interferir nas propriedades mecânicas da dentina radicular.

A maior desvantagem de um tratamento endodôntico é que os dentes se tornam fracos e susceptíveis a fraturas (Sedgley e Messer, 1992). Portanto, é importante encontrar materiais que forneçam ao dente uma estabilidade intracanal, a fim de evitar falhas do tratamento endodôntico e, conseqüentemente, perda do elemento dentário.

Atualmente, a literatura não relata uma padronização sobre o protocolo e o material obturador ideal para o tratamento endodôntico de dentes decíduos. Apesar da constante atualização e inovação, há pouco progresso nas técnicas de obturação de dentes

decíduos, sendo este o maior desafio na pulpectomia da dentição primária (Aylard e Johnson, 1987; Imparato et al., 2013).

De acordo com estudo prévio, uma nova pasta obturadora, composta por Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2), Clorexidina (CHX), Sulfato de Bário (BaSO_4) e Sulfato de Neomicina foi desenvolvida e testada quanto a algumas propriedades no âmbito endodôntico (Engelmann, 2022). Foi observada a manutenção de suas características físicas através dos testes de pH, que se manteve estável e alcalino. Além disso, no teste de espalhabilidade não foi observada diferença estatística quando comparada a Pasta comercial Calen®. Apresentou excelente resultado de radiopacidade, não se mostrou citotóxica e teve boa ação antimicrobiana contra *E. faecalis* (Engelmann, 2022).

No entanto, a influência dessa nova pasta obturadora nas propriedades mecânicas da dentina radicular ainda não foi elucidada, tornando justificável a realização do presente estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

As características dos dentes decíduos que diferem dos dentes permanentes incluem espessuras mais finas das estruturas, microporosidades abundantes, prismas expostos e maior incorporação de carbonatos. Essas características diferentes são responsáveis por tornar os dentes decíduos mais suscetíveis ao desenvolvimento e progressão da lesão cáriosa (Lopes *et al.*, 2019).

Previamente a um procedimento endodôntico em dentes decíduos, deve-se saber que sua anatomia verifica aparente semelhança com a anatomia de dentes permanentes, no entanto os decíduos possuem dimensões menores, sendo, portanto, as camadas de esmalte e dentina mais delgadas (Brabant, 1967; Guedes-Pinto e Santos, 2010). Além disso, é importante saber que a dentina de dentes decíduos apresenta menor rigidez quando comparada com a dos dentes permanentes, possuindo, desta forma, características mecânicas inferiores no processo de mastigação (Yi *et al.*, 2021).

Os dentes são caracterizados por uma composição química e microestrutural específicas, que estão relacionadas à sua natureza,

permanente e decídua, e aos lados, lingual e vestibular. O conhecimento mais profundo sobre este tema pode ser útil na prática clínica para desenvolver novas estratégias na odontologia restauradora e na escolha de materiais com os melhores desempenhos (Orilisi *et al.*, 2021). Este estudo informou que através do teste de microdureza de Vickers houve diferenças entre estruturas de dentes permanentes e decíduos tanto nos lados, tanto lingual quanto vestibular.

Jager *et al.* (2021) afirmam que as propriedades de impacto são extremamente importantes na concepção de novos materiais odontológicos e biomateriais. Os fatores que influenciam a força do impacto podem ajudar a desenvolver materiais com maior sobrevida. Na literatura foi afirmado que a força flexural, rigidez e as taxas de tensão são fatores importantes na força do impacto. A resistência à flexão, resistência coesiva (Mareending *et al.*, 2007; Cecchin *et al.*, 2015) e a resistência à fratura da dentina (Zhang *et al.*, 2014) são parâmetros comumente usados para avaliar os efeitos de agentes químicos no tecido duro saudável remanescente.

2.1 MICRODUREZA

Dureza é, de fato, a resistência de uma substância ou superfície ao recuo ou penetração, sendo uma importante propriedade mecânica para a matéria. A resistência do material

ao desgaste, ou atrito, ou erosão, seja com água ou qualquer outra substância geralmente aumenta com a sua dureza. Isso significa que a dentina tem mais possibilidade de desgaste do que o esmalte, devido ao seu conteúdo ter mais composição mineral. O teste de dureza com Vickers é um método padrão para avaliar a dureza de superfícies mineralizadas (Arslan *et al.*, 2015). O teste de microdureza é uma técnica simples e frequentemente utilizada para determinar as propriedades mecânicas dos tecidos rígidos dos dentes: esmalte e dentina (Joiner, 2007; Ghanbarzadeh *et al*, 2015).

Muitos estudos dentro da microdureza dentinária avaliam o uso de pastas de hidróxido de cálcio, como o de Nasori *et al.* (2019), que avaliaram avaliar os efeitos do hidróxido de cálcio (CH) e de nanocálcio (NCH) sobre a microdureza e a estrutura química superficial da dentina radicular. Neste ensaio *in vitro*, 80 discos de dentina foram aleatoriamente atribuídos em 2 grupos de controle e 2 de tratamento (n = 20). As pastas CH e NCH foram utilizadas nos grupos de tratamento. Nos grupos de controle, as amostras foram lavadas com soro fisiológico normal ou hipoclorito de sódio de 2,5%. Após 1 e 4 semanas, a micro rigidez da dentina foi avaliada pelo teste de Vickers. Observou-se redução significativa da microdureza média no grupo CH após 4 semanas, enquanto as diferenças não foram significativas na NCH e nos grupos de controle. O estudo concluiu que o uso de

CH como medicação intracanal por 4 semanas reduziu a microdureza dentinária, enquanto a NCH não alterou a microdureza.

Um estudo recente comparou os efeitos dos dois medicamentos endodônticos regenerativos amplamente utilizados: pasta de antibiótico triplo (ciprofloxacina-metronidazol-clindamicina) e hidróxido de cálcio na microdureza da dentina radicular de 60 dentes humanos, com raízes individuais, que foram divididos aleatoriamente em seis grupos: (1) Pasta tri-antibiótico com água destilada, ou com (2) propilenoglicol, (3) hidróxido de cálcio com água destilada, (4) hidróxido de cálcio propilenoglicol, (5) dentes extraídos não tratados como controles negativos, ou (6) dentes instrumentados e preenchidos com hidróxido de cálcio ou pasta tri-antibiótico como controles positivos. Os testes de microdureza foram realizados após 1 e 2 meses de exposição aos medicamentos utilizando um testador de microdureza de Vickers. De acordo com os resultados, o tempo de exposição à dentina radicular aos medicamentos foi semelhante ($P > 0,05$). A micro rigidez da dentina radicular foi menor nos dentes tratados com a pasta de antibiótico triplo ou hidróxido de cálcio quando combinado com propilenoglicol. Amostras expostas aos agentes antimicrobianos com água como veículo apresentaram a microdureza com menos degradação. Esse estudo *in vitro* sugere que a pasta de antibiótico

triplo e hidróxido de cálcio devem ser usados com propilenoglicol se uma difusão rápida for desejada ou com água para evitar degradar o colágeno e enfraquecer a microdureza dos dentes (Gúzman *et al*, 2022).

Parashar e colaboradores (2020) realizaram uma pesquisa comparando o efeito de três diferentes medicamentos intracanáis: pasta de antibiótico triplo modificada (MTAP), hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), e aloe vera, sobre a micro rigidez da dentina radicular de 50 dentes bicuspídeos, que foram preparados usando instrumentos rotativos. Três grupos foram separados, em que os canais radiculares foram preenchidos com MTAP, Ca(OH)_2 , e aloe vera medicamentos. Após 21 dias, os medicamentos foram removidos. Os números médios de dureza knoop foram calculados após o tratamento e comparados com o grupo controle, que não foi tratado. Todos os grupos tratados, exceto o grupo aloe vera, apresentaram redução significativa ($p < 0,05$) na microdureza da dentina radicular, em comparação com o grupo controle não tratado. O estudo concluiu que aloe vera mostra resultados promissores, gerando menos efeitos sobre a microdureza da dentina radicular, em comparação com MTAP e Ca(OH)_2 .

Em 2021, Amonkar *et al*. avaliaram o efeito do uso a longo prazo de três medicamentos intracanáis na microrrigidez dentina radicular e resistência à fratura. Os dentes foram armazenados em

uma incubadora a 37°C a 100% de umidade e foram categorizados em três grupos por alocação aleatória, a ver: Pasta Triplo Antibiótico (TAP), pasta de hidróxido de cálcio (Apexcal) e Ledermix. Após a aplicação do medicamento, as aberturas de acesso de todos os dentes foram seladas com 4 mm de espessura de cavit. As amostras foram armazenadas por períodos de 1 semana, 1 mês e 3 meses. Foram obtidos dois cilindros de dentina de 5mm e 3mm de cada amostra. O terço cervical foi utilizado para resistência à fratura e o terço médio foi utilizado para avaliação de microdureza. O teste de microdureza foi feito usando um testador de Knoop e o teste de resistência à fratura foi feito usando a máquina de teste universal. O hidróxido de cálcio mostrou efeito extremamente negativo nas propriedades físicas da dentina radicular em comparação com a TAP. O estudo concluiu que a colocação a longo prazo de hidróxido de cálcio, pasta triplo antibiótico e ledermix afeta significativamente a micro rigidez e resistência à fratura da dentina radicular.

No entanto, um outro estudo comparou as propriedades mecânicas da dentina radicular humana e bovina utilizando medicamentos e irrigantes endodônticos. Barras padronizadas de dentina humana e bovina foram alocadas em seis grupos experimentais (n = 15): pasta de hidróxido de cálcio (Calasept Plus); Odontopaste; 0,5% e 1% de Géis de NaOCl; 1% e 4% de soluções de NaOCl. As barras foram expostas aos materiais por

7 dias e, em seguida, imediatamente submetidas a um teste de dobra de três pontos e teste de micro rigidez de Vickers. A dentina humana apresentou um módulo de elasticidade significativamente maior, maior microdureza e menor resistência flexural em comparação com a dentina bovina. Hidróxido de cálcio e Odontopaste não resultaram em uma mudança significativa nas propriedades mecânicas da dentina humana, concluindo que estes podem ser opções de medicação intracanal (Cochrane *et al.*, 2019).

O Óxido de Zinco e Eugenol foi o primeiro material proposto para obturação de dentes decíduos (Saggar *et al.*, 1991). Biven e colaboradores (1972) avaliaram os efeitos do eugenol e de vários seladores do canal radicular que continham eugenol na dentina humana através de testes de microdureza. A rugosidade da dentina humana aumentou significativamente pelo contato prolongado com esses materiais. Além disso, parece que a microdureza aumenta, à medida que o teor de eugenol nos seladores foi diminuído.

Um estudo comparou *in vitro* o efeito de materiais de selamento, incluindo óxido de zinco e eugenol (ZOE), cimento de ionômero de vidro modificado por resina (RMGIC) e coroas de aço inoxidável (SSC) cimentadas com cimento de ionômero de vidro (GIC), na configuração da Biodentina® (BD) usada como agente pulpotomia em molares primários que foram

definitivamente restauradas em uma única sessão. Quarenta primeiros molares extraídos foram preparados para replicar procedimentos de pulpotomia. Os dentes foram alocados aleatoriamente em quatro grupos restauradores: (1) BD, ZOE, SSC; (2) BD, RMGIC, SSC; (3) BD, SSC; (4) Somente BD (controle). Todas as amostras foram incubadas por 24 horas, seccionadas de forma mesial-distal, e polidas. A configuração BD foi medida em função do valor de dureza Knoop (HK) usando um Testador de Microdureza Leco. Não houve diferença estatisticamente significativa entre o valor médio de HK entre os quatro grupos. Os materiais de selamento, incluindo eugenol de óxido de zinco, ionômero de vidro modificado por resina e coroas de aço inoxidável cimentadas com cimento ionômero de vidro, não mostraram efeito no conjunto final do BD (Pham *et al.*, 2019).

A microdureza de 5 materiais foi testada, no estudo de Kang *et al.* (2012), com o objetivo de comparar a morfologia superficial e a dureza superficial de cinco materiais 24 horas após o preenchimento, em condições de 100% de umidade, e em uma solução de imersão de soro fetal bovino (FBS) diluída com solução salina tamponada com fosfato (PBS). O teste de Vickers avaliou a microdureza de ProRoot agregado de trióxido mineral (MTA), Super-EBA, Materiais Restauradores Intermediários (IRM), Óxido de Zinco e Eugenol (ZOE) e Amálgama, os quais

cada corpo de prova foi armazenado nas duas diferentes condições de hidratação. Para a avaliação morfológica microestrutural, foram preparadas superfícies de raiz de dentes humanos, seguidas pelo preenchimento retrógrado com os cinco materiais diferentes, observadas sob um microscópio eletrônico de varredura em $\times 500$. O estudo concluiu que o Super EBA foi menos influenciado pelo meio de armazenamento do que os outros materiais, especialmente o MTA.

A clorexidina é utilizada na odontologia desde a década de 1950, como uma substância antisséptica oral para pasta de dente, goma de mascar e enxaguante bucal (Leonardo *et al.*, 1999). Sabe-se que é um agente antimicrobiano eficaz, juntamente com a substantividade no sistema do canal radicular, bem como a não toxicidade relevante (Siqueira e Paiva, 2007). No entanto, não pode ser usada como irrigante primário devido à sua falta de propriedades de dissolução tecidual. Mas, a clorexidina também é vista por ter um efeito de endurecimento na dentina radicular, neutralizando assim o efeito desmineralizador ou descalcificante dos vários outros irrigantes primários. Além disso, os pesquisadores recomendam que o uso de clorexidina 2% seja como um irrigante final, com base em sua propriedade de substantividade, juntamente com sua atividade antimicrobiana prolongada (Pinheiro *et al.*, 2018).

Um estudo avaliou os efeitos de gluconato de clorexidina 2% (CHG) e fluoreto de sódio 2% (NaF) como irrigantes endodônticos sobre microdureza de dentina radicular. Vinte e quatro canais radiculares foram acessados de dentes anteriores recém extraídos. Todas as amostras foram imersas em soluções de 17% de ácido tetra-acético de etilenodiamina (EDTA) (2 minutos), seguido por 2,5% de hipoclorito de sódio (NaOCl) (10 minutos). Em seguida, as amostras foram divididas aleatoriamente em três grupos com base no irrigante utilizado: Grupo I: soro fisiológico (grupo controle); Grupo II: NaF 2%; Grupo III: CHG 2% por dois minutos cada. A microdureza dentinária foi medida antes (pré-tratamento), durante (após o tratamento com EDTA 17% e NaOCl 2,5%), e após o período experimental (após o tratamento com soro fisiológico, NaF 2% e CHG 2%) utilizando um teste de microdureza de Vickers. De acordo com os resultados, o estudo concluiu que o NaF não mostrou nenhum efeito significativo na micro rigidez da dentina radicular. O CHG como um irrigante foi visto como um efeito de fortalecimento sobre a micro rigidez da dentina em comparação com NaOCl e EDTA, o que diminuiu a força da dentina raiz (Kulkarni *et al.*, 2021).

Kapralos e colaboradores (2021) avaliaram as propriedades antibacterianas, físicas e químicas do AH Plus, BioRoot RCS e Pulp Canal Sealer (PCS) em contato com 2% de

digluconato de clorexidina (CHX) usado como irrigante final antes da obturação do canal radicular. As propriedades antimicrobianas foram investigadas por testes de contato direto para o crescimento planctônico e biofilme de *E. faecalis*, *S. mutans*, *S. epidermidis* e *S. aureus in vitro*. Também foram avaliados o tempo de ajuste, molhabilidade, microdureza e rugosidade da superfície. Os selantes foram estudados sem contato, 1 minuto (curto prazo) e contato contínuo (longo prazo) com CHX. A caracterização química dos selantes foi realizada por microscopia eletrônica de varredura, análise de difração de raios-X e espectroscopia infravermelha após o uso de CHX ou de soro fisiológico como o último irrigante em um modelo de dente extraído, seccionado em blocos. A CHX aumentou a atividade antibacteriana de todos os selantes investigados contra bactérias planctônicas e biofilmes, com PCS exercendo a maior atividade antimicrobiana com e sem a presença de CHX. A configuração de AH Plus e BioRoot RCS foi retardada, enquanto para PCS acelerou na presença de CHX. AH Plus e PCS foram mais hidrofílicos após o contato com chx, enquanto BioRoot RCS foi hidrofóbico de uma maneira dependente do tempo. A micro rigidez dos selantes foi comprometida e a rugosidade superficial aumentou após a exposição chx para AH Plus e BioRoot RCS, e diminuiu para PCS. O CHX não afetou a química dos seladores, mas o PCS apresentou duas fases extras.

Enterococcus faecalis (*E. faecalis*), é um agente anaeróbio facultativo gram-positivo, responsável por uma grande porção de infecções e reinfecções do canal radicular de dentes humanos. A clorexidina é um forte bactericida contra *E. faecalis*, mas não pode se infiltrar em túbulos dentinários. Um efeito negativo comum dos medicamentos do canal radicular é a diminuição da microdureza da dentina. Neste estudo, foram aplicadas partículas polímeros de submicron Poly(D,L-lactic-co-glycolide) (PLGA) como veículos de entrega para carregar e liberar a clorexidina, bem como cálcio e fósforo. Foram investigados os perfis de liberação, a capacidade antibacteriana contra *E. faecalis*, a capacidade de infiltração em túbulos dentinários, a biocompatibilidade e os efeitos sobre a micro rigidez da dentina dessas partículas. Em espécimes de fatias de dentina, as partículas poderiam ser levadas para túbulos dentinários por ativação ultrassônica, podendo inibir a colonização de *E. faecalis*. Além disso, os espécimes medicados com essas partículas apresentaram um aumento na microdureza da dentina radicular. Em conclusão, partículas de submicron PLGA portadoras de clorexidina, cálcio e fósforo poderiam compor em um novo desinfetante intracanal para tratamentos dentários (Fan *et al.*, 2019).

Em 2014, Das e colaboradores compararam as mudanças na microdureza da dentina radicular causadas por dois novos regimes de irrigação com irrigação convencional. Espécimes de

raízes descoroadas foram selecionadas e divididas em grupos de acordo com o protocolo de irrigação utilizado (n = 15). Grupo I: 5% de hipoclorito de sódio (NaOCl) + 17% de ácido etilenodiaminetetraacético (EDTA) + 0,2% de diglucoto de clorexidina (CHX) (convencional). Grupo II: 6% Morinda Citrifolia Juice (MCJ) + 17% EDTA. Grupo III: 5% NaOCl + Q Mix 2 em 1 (QMix). Grupo IV: Água destilada (controle). Os protocolos de irrigação foram realizados por 5 minutos. A microdureza da dentina radicular foi medida com um penetrador de Vickers sob uma carga de 200 g e um tempo de 20s no nível médio de dentina raiz. Foi observada diferença significativa nos valores medianos dos quatro grupos submetidos a protocolos de irrigação. O grupo controle apresentou a menor redução da microdureza, comparado aos outros grupos. Com exceção do Grupo III (Q Mix), os outros grupos testados (MCJ e regimes convencionais) apresentaram diferença estatisticamente significativa em parte do grupo controle. O Grupo III apresentou-se menos prejudicial à microdureza da dentina radicular, quando comparado com o MCJ e regimes convencionais de irrigação.

Um estudo recente avaliou o efeito de vários protocolos finais de irrigação sobre microdureza dentinária radicular, composição bioquímica e expressão DMP1-CT. Um total de 140 dentes humanos de raízes únicas foram preparados com instrumentação rotatória e distribuídos aleatoriamente em 7

grupos (n = 20) de acordo com o protocolo final de irrigação: água destilada (DW - controle); hipoclorito de sódio-EDTA (NaOCl-EDTA); EDTA (EDTA); EDTA-NaOCl (EDTA-NaOCl); EDTA-clorexidina (EDTA-CHX); irrigação ultrassônica passiva (PUI:NaOCl-EDTA); e PUI:NaOCl-EDTA-NaOCl. A microdureza (n = 10) foi avaliada no lúmen do canal radicular utilizando testador de dureza Vickers. A análise imunohistoquímica (n = 5) foi utilizada para avaliar a expressão DMP1-CT. A ultraestrutura dentinária e a composição bioquímica foram avaliadas por meio da análise de raios-X dispersivos de energia (EDAX) (n = 5) com um microscópio eletrônico de varredura (SEM). Os espectros raman do conteúdo orgânico e da expressão DMP1-CT foram mais baixos no canal do lumen em EDTA-NaOCl, PUI:NaOCl-EDTA e PUI:NaOCl-EDTA-NaOCl quando comparado ao controle ($p < 0,05$). EDAX mostrou valores reduzidos para cálcio e fósforo em EDTA-NaOCl, PUI:NaOCl-EDTA e PUI:NaOCl-EDTA-NaOCl. A microfotografia SEM mostrou dentina completamente limpa, túbulos permeáveis e erosão da dentina, principalmente quando a PUI foi usada. NaOCl-EDTA apresentou valores de microdureza significativamente mais elevados do que PUI:NaOCl-EDTA-NaOCl ($p < 0,05$). PUI:NaOCl-EDTA-NaOCl exibiu os menores valores de dureza vickers de todos os grupos. Os protocolos finais de irrigação que utilizaram uma lavagem final com NaOCl e PUI

mostraram um efeito prejudicial na expressão de dentina radicular DMP1-CT, composição bioquímica e microdureza, indicando que o material com clorexidina pode ser sugestão de irrigante, pois não tem influência significativa na microdureza (Lobo *et al.*, 2022).

Além disso, um outro estudo avaliou a microdureza da dentina radicular e rugosidade superficial através dos efeitos de soluções irrigantes amplamente utilizadas na endodontia. Foram selecionados 122 dentes incisivos permanentes humanos não cariosos. As coroas dos dentes foram seccionadas e as raízes foram separadas longitudinalmente para obter 240 espécimes. Esses espécimes foram então divididos em seis grupos de acordo com as soluções irrigantes utilizadas. As soluções utilizadas foram soluções NaOCl de 5% e 2,5%, H₂O₂ de 3%, solução de EDTA de 17%, 0,2% de gluconato de clorexidina e água destilada. Em seguida, os espécimes foram submetidos a testes de microdureza e rugosidade. Os dados foram analisados utilizando-se os múltiplos testes de comparação da ANOVA e Tukey. Os resultados deste estudo indicaram que todas as soluções de irrigação, exceto 0,2% de gluconato de clorexidina, diminuíram a micro rigidez da dentina radicular, e H₂O₂ 3% e 0,2% de gluconato de clorexidina não tiveram efeito na rugosidade superficial. Portanto, o estudo conclui que 0,2% de gluconato de clorexidina parece ser uma solução de irrigação adequada, devido

ao seu efeito inofensivo sobre a micro rigidez e rugosidade superficial da dentina do canal radicular (Patil e Uppin, 2011).

Desde 1847, o Sulfato de bário (BaSO_4) vem sendo utilizado na odontologia como material obturador de canais, sendo um dos componentes radiopacificadores da guta percha (Nascimento *et al.*, 2010). Essa propriedade permite visualizar o canal tratado em exames radiográficos (Veiga *et al.*, 2017). Portanto, o sulfato de bário é o agente mais utilizado para conferir radiopacidade a algumas pastas contendo hidróxido de cálcio que já são comercializadas atualmente, como a pasta Ultracal XS® e Hydropast® (Loureiro *et al.*, 2018). Mas, é importante que este radiopacificador não interfira nas propriedades da pasta, como liberação de íons de cálcio e pH, características necessárias relacionadas ao processo de mineralização e ação antimicrobiana (Costa *et al.*, 2014).

Makita, *et al.*, em 2008, avaliaram o pó de sulfato de bário adicionado a um cimento ósseo de polimetilmetacrilato (PMMA) com uma concentração inicial de 10% de bário. As mudanças na radiopacidade e resistência foram avaliadas testando blocos de cimento contendo quatro concentrações de bário (10%, 20%, 30%, 40%). A radiopacidade foi avaliada por meio da medição dos valores da tomografia computadorizada (TC). Os valores de TC aumentaram em proporção à concentração de bário. A radiopacidade é aumentada e a resistência reduzida pela adição

de concentrações crescentes de pó de bário ao cimento ósseo. Os resultados do presente estudo sugerem que a adição de bário permite que a radiopacidade e a resistência do cimento ósseo sejam ajustadas na prática clínica.

Prather *et al.* (2014) investigaram os efeitos da pasta triplo antibiótico (TAP) e das concentrações modificadas de pasta triploantibiótico (MTAP) na micro rigidez e estrutura química da dentina radicular. Raízes de dentes humanos foram instrumentadas e randomizadas em quatro grupos de tratamento e um grupo de controle não tratado. Dois grupos de tratamento receberam 1 g/mL TAP ou MTAP, e os outros dois grupos de tratamento receberam 1 mg/metilcelulose TAP ou MTAP. As raízes foram armazenadas com 100% de umidade relativa por 4 semanas. Cada amostra foi submetida a um teste de microdureza antes e depois do tratamento. Todos os grupos de tratamento apresentaram reduções significativas na microdureza radicular quando comparados com raízes de controle não tratadas. No entanto, antibióticos à base de 1 mg/metilcelulose causaram significativamente menos redução na microdureza quando comparados a antibióticos de 1 g/mL. O estudo concluiu que o uso de TAP e MTAP à base de metilcelulose de 1 mg/mL pode minimizar a redução da microrência das raízes em comparação com a concentração de 1 g/mL atualmente utilizada desses antibióticos.

Daneswari e colaboradores (2022) também investigaram os efeitos da pasta de antibiótico triplo (TAP) e da pasta de antibiótico triplo modificada (MTAP) de diferentes concentrações sobre a micro rigidez e estrutura química da dentina radicular. Em seu estudo, houve reduções significativas na microdureza dos grupos tratados quando comparadas às raízes de controle não tratadas a 1.000 e/ou 500 μm da interface dentinopulpar. Concluíram então que o uso de TAP e MTAP à base de metilcelulose de 1 mg/mL pode minimizar a microdureza das raízes em comparação com a concentração de 1 g/mL atualmente utilizada desses antibióticos.

Na terapia endodôntica regenerativa, a pasta de antibióticos deve ser colocada no canal radicular por várias semanas. Esta pasta de antibióticos é obrigada a produzir alterações na superfície dentinária quando usada por períodos mais longos. Um estudo de Madhukumar *et al.* (2021) comparou os efeitos da pasta de antibiótico duplo (metronidazol e ciprofloxacina) com a pasta amoxicilina-clavulanato sobre a micro rigidez da dentina radicular. O canal radicular de 45 pré-molares foi mecanicamente preparado e dividido em três grupos para a colocação de medicação intracanal: Grupo 1 (n = 15) pasta de antibiótico duplo, Grupo 2 (n = 15) pasta amoxicilina-clavulanato e grupo controle do Grupo 3 (n = 15). Todas as amostras foram submetidas a testes de microdureza a 500 e 1000 microns de profundidade durante 1

semana, 1 mês e 3 meses e analisadas. Não houve redução significativa na micro rigidez da dentina radicular em 1 semana em todos os três grupos. No período de 1 mês e 3 meses, a pasta amoxicilina-clavulanato não teve efeito significativo na micro rigidez da dentina quando comparada à dupla pasta de antibióticos. O uso de pasta amoxicilina-clavulanato como um medicamento intracanal não causa enfraquecimento significativo da dentina mesmo após seu uso a longo prazo.

O hidróxido de cálcio é considerado como padrão ouro como medicação intracanal ou obturador de dente decíduo. Naeem e colaboradores (2023) compararam o desempenho da microdureza utilizando hidróxido de cálcio e um extrato natural de própolis como medicação intracanal. Observou-se diminuição progressiva dos valores de microdureza no grupo de hidróxido de cálcio, enquanto no grupo própolis foi observado aumento progressivo. Aos 7 dias, o própolis apresentou o maior valor de microdureza, enquanto o hidróxido de cálcio apresentou o menor valor. Portanto, neste estudo, a microdureza da dentina radicular aumentou ao longo do tempo com a aplicação da própolis e diminuiu com o tempo após a aplicação do CH nos cortes de dentina radicular.

Um estudo recente, de 2024, avaliou a influência da terapia fotodinâmica antimicrobiana mediada pelo azul de metileno (MB) e da medicação hidróxido de cálcio (HC) sobre as características mecânicas, incluindo microdureza, na dentina de canal radicular.

Foram formados 6 grupos experimentais por meio da triagem de 102 incisivos bovinos. Os canais irrigados com água deionizada de irrigação foram o grupo controle negativo; os canais irrigados com água deionizada e preenchidos com HC como controle positivo; grupos tratados com HC + MB na dose de 50 e 100 mg/L sem irradiação; e grupos tratados com HC + MB a 50 e 100 mg/L irradiados com laser vermelho por 60 s (660 nm; 100 mW; 6,5 J; 72 J/cm²). Como conclusão, o estudo relata que a terapia fotodinâmica antimicrobiana mediada por azul de metileno a 50 mg/L, em combinação com HC, demonstrou características mecânicas satisfatórias, incluindo a microdureza (Strazzi-Sahyon *et al*, 2024).

Uma pesquisa avaliou e comparou o efeito do hidróxido de cálcio Ca(OH)₂ e ácido 2-hidroxiisocapróico (HICA) na microdureza da dentina radicular. Cinquenta e um incisivos centrais superiores maturados com raiz reta foram descorados, com comprimento padronizado de 16 mm. Os canais radiculares foram limpos e moldados com instrumentos rotatórios. As amostras dentárias foram então distribuídas aleatoriamente em três grupos (n = 17) com base no medicamento intracanal colocado. Grupo A: grupo controle sem medicação intracanal; Grupo B: canais radiculares colocados com Ca(OH)₂ e Grupo C: canais radiculares colocados com HICA. O grupo controle apresentou valor de microdureza significativamente maior (P < 0,001), seguido pelo

HICA e, finalmente, Ca(OH)_2 nas 3 regiões avaliadas, coronal, média e apical-terceira, respectivamente. Como conclusão do estudo, a utilização de HICA como medicação intracanal gerou uma redução significativamente menor na microdureza da dentina radicular, mostrando que Ca(OH)_2 poderia ser uma alternativa potencial (Nirajan *et al*, 2023).

Alguns estudos têm avaliado a utilização do cimento de óxido de zinco e eugenol (OZE) com reforço de compósitos para observar seu comportamento mecânico. A modificação dos materiais odontológicos, especialmente pelo emprego de obturadores inorgânicos, leva a grandes avanços em suas propriedades mecânicas (Yadav *et al*, 2023). Hamdy (2024), realizou ensaios de compressão, microdureza e solubilidade comparando amostras de óxido de zinco e eugenol e amostras de óxido de zinco e eugenol reforçados com pó de fibra de vidro. Os resultados revelaram que o cimento OZE modificado apresentou um valor médio significativamente maior de resistência à compressão e microdureza superficial, enquanto apresentou um valor médio de solubilidade significativamente menor em comparação com o OZE não modificado. Contrariando muitos estudos, a OZE com reforço de fibra de vidro se mostra uma alternativa a estabilidade de propriedades mecânicas.

2.2 RESISTÊNCIA FLEXURAL

A resistência a flexão é um teste mecânico sob uma carga estática, de uma barra apoiada em suas extremidades ou de um disco fino apoiado em suporte circular. A unidade de tensão é a unidade de força por unidade de área, determinada por megapascal (Mpa). De certo modo, esse teste mede a interação simultânea das tensões de tração, cisalhamento e compressão (Anusavice, 2005).

Alguns estudos demonstraram que o hidróxido de cálcio está associado com mudanças na força da dentina radicular em resposta aos materiais endodônticos. Foi demonstrado que o hidróxido de cálcio pode perturbar a rede de hidroxiapatita e colágeno de dentina e, como consequência, ser suscetível à fratura (Kawamoto *et al.*, 2008). Pode ser possível que agentes que induzem liberação de hidróxido de cálcio, como o agregado de trióxido mineral (MTA) e um material endodôntico recentemente introduzido, o cimento de mistura enriquecido com cálcio (CEM), enfraquecem e reduzem a força e dureza da dentina radicular a longo prazo, como curativo de demora (Andreasen *et al.*, 2002).

Um estudo *in vitro* comparou o efeito de curto prazo do hidróxido de cálcio, agregado de trióxido mineral (MTA) e

cimento de mistura enriquecido com cálcio (CEM) sobre a força da dentina da raiz bovina. Quinze incisivos bovinos intactos recém-extraído foram preparados em um cilindro e foram cortados longitudinalmente em 4 pedaços simétricos. As 60 amostras preparadas foram divididas em quatro grupos (n =15). As amostras foram colocadas em 4 placas de petri contendo hidróxido de cálcio, MTA, cimento CEM e soro fisiológico normal como grupo controle. Eles foram então submetidos a forças flexural aplicadas pela máquina universal Instron. A força flexural média nos grupos de cimento hidróxido de cálcio, MTA e CEM foi significativamente menor na dentina radicular dos dentes bovinos, do que no grupo controle. Não houve diferenças significativas entre o hidróxido de cálcio, o grupo de cimento MTA e CEM (Sahebi *et al.*, 2012).

Já em uma pesquisa realizada por Grigoratos e colaboradores (2001), o objetivo foi avaliar o efeito das soluções de hipoclorito de sódio (NaOCl) (3%, 5%) e hidróxido de cálcio saturado (Ca(OH)₂), individual e consecutivamente, sobre a força flexural e o módulo de elasticidade de barras de dentina padronizadas. As barras de dentina foram divididas em cinco grupos de teste e um grupo de controle. O grupo controle (grupo 1) consistia em barras de dentina armazenadas em soro fisiológico normal até o teste. As barras de dentina nos cinco grupos de teste foram tratadas pela exposição às seguintes

soluções: grupo 2--3% NaOCl, 2 h; grupo 3--5% NaOCl, 2 h; grupo 4 - solução Ca(OH)_2 saturada, 1 semana; grupo 5--3% NaOCl, 2 h e, em seguida, saturado Ca(OH)_2 solução 1 semana; grupo 6--5% NaOCl, 2 h e, em seguida, saturado com solução Ca(OH)_2 por 1 semana. As barras de dentina foram então carregadas até a falha em um teste de dobra de três pontos. Os dados revelaram uma redução significativa ($P < 0,001$) no módulo de elasticidade e força flexural das barras de dentina tratadas com 3% e 5% de NaOCl. Não houve diferença significativa na força flexural e no módulo de elasticidade entre os grupos NaOCl de 3% e 5%. A exposição ao Ca(OH)_2 significativamente ($P < 0,001$) reduziu a força flexural, mas não teve efeito significativo no módulo de elasticidade. Os grupos tratados com hipoclorito de sódio seguidos de hidróxido de cálcio não mostraram módulo de elasticidade e resistência a flexão significativamente diferentes daqueles tratados apenas com hipoclorito de sódio. O NaOCl (3% e 5%) reduziu o módulo de elasticidade e força flexural da dentina. Já Ca(OH)_2 saturado reduziu a força flexural da dentina, mas não o módulo de elasticidade. O uso sequencial de NaOCl e Ca(OH)_2 não tem efeito de enfraquecimento adicional.

No entanto, Moazami *et al.* (2014), relataram em seu estudo efeito da aplicação a longo prazo do cimento agregado de trióxido mineral (MTA), o hidróxido de cálcio (CH) e o novo

material endodôntico, o cimento de mistura enriquecido com cálcio, sobre a força flexural da dentina bovina. Trezentos e vinte amostras de dentina bovina foram divididas em 4 grupos, expostos ao cimento CEM, CH, MTA ou soro fisiológico (grupo controle). As amostras de cada grupo foram divididas em 4 subgrupos que foram testados por meio da Máquina de Testes Universal Instron para períodos de 7, 30, 180 e 365 dias após a exposição aos materiais de teste. O valor médio das forças para quebrar as amostras nos grupos de cimento CEM e CH foi significativamente menor do que o grupo controle após 1 mês ($P < 0,05$). Após 180 dias, as amostras do grupo de cimento CEM recuperaram sua força, mas nos grupos MTA e CH o intervalo de tempo enfraqueceu as amostras. Após um ano de exposição ao CH e MTA, a força flexural da dentina reduziu para 72% e 38,7%, respectivamente. No entanto, a força flexural das amostras no grupo de cimento CEM não mudou significativamente em relação ao grupo controle. Após 365 dias de aplicação de materiais experimentais à dentina bovina, o cimento CEM apresentou um resultado interessante, mas os outros materiais causaram uma redução na força da dentina ao final do estudo.

Em um outro estudo, foi comparada a liberação de íons de cálcio e hidroxil na água e propriedades mecânicas de um hidróxido de cálcio (Dycal) e dois cimentos de silicato de cálcio (MTA Angelus e Biodentine). A liberação de cálcio após 7, 14,

21 e 28 dias no pH 5.5 e 7.0 foi medida utilizando ICP-OES (n = 6). A força flexural (FS) e o módulo de elasticidade (E) foram testados após o armazenamento de 48h, e a força compressiva (CS) foi testada após 48 h e 7 dias (n = 10). A liberação imediata de íons de cálcio e hidroxílico na solução foi significativamente menor para Dycal. Em geral, todos os materiais liberaram níveis constantes de cálcio ao longo de 28 dias, mas a liberação da Dycal foi significativamente menor que a Biodentina e MTA Angelus, dependendo das condições de pH. A biodentina tinha força e módulo de elasticidade substancialmente maiores do que MTA Angelus e Dycal, ambos demonstrando baixa capacidade de suporte de estresse (Natale *et al.*, 2015).

O óxido de zinco e eugenol (OZE) é amplamente utilizado como material restaurador dentário terapêutico (Jun *et al.*, 2018). Lawson *et al.*, (2007) mediu a retenção de fundições de liga metálica base à dentina fornecida por 8 cimentos provisórios (3 à base de resina e 5 a base de óxido de zinco) e correlacionar a retenção à sua força flexural. As amostras de resistência flexural (2,5 x 2,5 x 22 mm) foram feitas de cada cimento e foram colocadas em um modo de teste de dobra de 3 pontos e recebendo carga a 1 mm/min até a falha. Dez dentes extraídos foram e foram fresados para uma preparação de coroa completa padronizada, equipados com fundições Rexillum III, e cimentados com cada cimento provisório. As amostras foram submetidas a uma carga

de tração (1 mm/min) até a falha em uma máquina de teste universal. A força flexural para cada cimento foi calculada em MPa e correlacionada com a retenção. Diferenças significativas foram encontradas nas forças de flexão e retenção fornecidas pelos diversos cimentos. A força de flexão foi correlacionada com a retenção de cimento para cimentos à base de resina, mas não com cimentos a base de óxido de zinco e eugenol.

Outro estudo avaliou o efeito do tratamento endodôntico e do tempo de armazenamento na resistência à flexão e tração final da dentina radicular. Oitenta dentes bovinos foram divididos em dentes endodonticamente tratados (ET) e dentes endodonticamente não tratados (NT). Os canais ET foram instrumentados e irrigados com hipoclorito de sódio 1,0%. As raízes foram preenchidas com guta-percha e cimento de óxido de zinco e eugenol pela técnica de condensação lateral. Os testes foram realizados da seguinte forma: t1, imediatamente; t2, 7 dias; t3, 15 dias; e t4, 30 dias após a extração para grupos NT ou após a extração e tratamento endodôntico para grupos ET (n= 0). As raízes foram cortadas axialmente em duas metades, uma metade foi usada para obter barras para a realização do teste flexural de quatro pontos e a outra metade para obter fatias que foram aparadas resultando em espécimes em forma de ampulheta para testes microtração. As amostras foram submetidas aos testes e os dados foram analisados estatisticamente. Os resultados indicaram

que o tratamento endodôntico utilizando o cimento de óxido de zinco e eugenol, potencializado pelo tempo transcorrido após o tratamento endodôntico, pode afetar as propriedades físicas da dentina (Soares *et al.*, 2007).

Alguns autores relatam que existe uma tendência da clorexidina em manter as propriedades de resistência flexural ao longo do tempo, impedindo a mudança estrutural morfológica da matriz orgânica da dentina, responsável pela maior parte das propriedades mecânicas deste substrato (Carrilho *et al.*, 2007; Moreira *et al.*, 2009).

Um estudo avaliou a microdureza transversal e a força flexural da dentina radicular exposta a diferentes tratamentos de superfície com agentes químicos após a preparação biomecânica. Os canais radiculares de caninos humanos foram tratados biomecanicamente e divididos em oito grupos (n=10) para receber um dos seguintes tratamentos de dentina: I. Água desionizada (controle); II. Hipoclorito de sódio de 5,25% (NaOCl); III. NaOCl + 10% de ascorbato de sódio (SA); IV. SA; V. gel de clorexidina 2% (CHX); VI. gel de ácido fosfórico 37% (PA) + CHX; VII. PA; e VIII. PA + NaOCl. As raízes foram seccionadas para obter espécimes que foram avaliados em testes de microdureza de Knoop transversal e força flexural usando um teste de dobra de três pontos. O teste de ANOVA e Tukey foram realizados. A microdureza no grupo controle foi

significativamente maior ($p < 0,05$) do que nos grupos expostos a agentes químicos, que por sua vez foram estatisticamente semelhantes ($p > 0,05$) uns aos outros. Em relação à força flexural, o PA+NaOCl forneceu valores estatísticos mais elevados que PA+CHX e CHX. No entanto, não houve diferença significativa entre o grupo controle e os grupos submetidos ao tratamento superficial ($p > 0,05$). A microdureza dentinária foi reduzida após a exposição a NaOCl, CHX, PA, SA e suas associações e a força flexural da dentina radicular não foi afetada pelos agentes químicos (Marcelino *et al.*, 2014).

Em 2013, uma pesquisa de Korkmaz e colaboradores avaliou a atividade antibacteriana (ABA), rugosidade superficial (Ra), força flexural (FS) e solubilidade (SL) dos cimentos dentários convencionais: fosfato de zinco (ZP), policarboxilato de zinco (PC) e ionômero de vidro (GIC) após a adição antibacterianos de 5% de diacetato de clorexidina (CHX+CT). A ABA contra *Streptococcus mutans* (SM) e *Lactobacillus casei* (LB) foi examinada usando o método de teste de difusão de ágar. Os valores de Ra, FS e SL foram obtidos após armazenamento em água destilada a 37°C durante 24 horas, com testes específicos. Os resultados concluíram que incorporar uma mistura de 5% de CHX+CT em lubrificação de cimentos dentários convencionais altera seus valores de Ra, FS e SL, mas pode fornecer maior proteção antibacteriana contra SM e LB.

Ribeiro *et al.*, (2017) avaliou a perda de íon mineral da dentina radicular após o tratamento com solução de clorexidina de 2% (CHX) e comparou seu rendimento e força flexural (FS) após a exposição ao hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2). Barras de dentina (DB) foram feitas a partir de 90 raízes de incisivos bovinos e randomizadas em três grupos: GControle: água destilada/desionizada (DDW), GNaOCl: 2,5% hipoclorito de sódio + 17% EDTA e GCHX: CHX + DDW. Liberação de íons de fosfato (PO_4) e íons de cálcio (Ca) foram medidos por espectrofotometria. O DB foi exposto a Ca(OH)_2 por 0, 30, 90 e 180 dias. DB foram submetidos ao teste de dobra de três pontos para obter valores de rendimento e fs. Os padrões de fratura foram avaliados (20x). Os dados foram analisados utilizando-se os testes pós-hoc de Kruskal-Wallis e Dunn ou ANOVA de uma e duas vias seguidos pelo teste pós-hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$). O grupo GCHX resultou em menor liberação iônica de fosfato e cálcio do que o grupo GNaOCl ($p < 0,001$). Para rendimento e FS, GCHX foi maior que GNaOCl em todos os períodos ($p < 0,001$), exceto para valores de força de rendimento em 90 dias ($p = 0,791$). Observou-se maior frequência de fraturas verticais em GNaOCl e a de fraturas oblíquas em GCHX ($p < 0,05$). CHX impediu a perda de íons de fosfato e cálcio e mostrou uma tendência a preservar o rendimento e FS de dentina radicular ao longo do tempo após a exposição a Ca(OH)_2 .

Um estudo recente avaliou e comparou a eficácia de desinfecção da terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT), clorexidina (CHX), hipoclorito de sódio (NaOCl) e água sobre amostras de retentores formados a vácuo (VFRs), juntamente com seu efeito sobre a força flexural e estabilidade da cor. Os VFRs fabricados de espessuras 1 mm e 2 mm foram contaminados com *S. mutans* e *C. albicans*, foram divididos em quatro grupos e descontaminados utilizando quatro protocolos de tratamento diferentes: aPDT, CHX, NaOCl e água, com 10 espécimes por grupo. A viabilidade microbiana após a descontaminação foi avaliada por meio de ensaio MTT. A estabilidade de cor, a diferença de cor pré e pós-descontaminação de 10 espécimes foi registrada utilizando um espectrofotômetro. A resistência flexural de 10 espécimes foi medida usando uma máquina de teste universal por um teste padronizado de força flexural de 3 pontos (FS). A aPDT apresentou a maior redução na viabilidade das espécies *S. mutans* (28%) e *C. albicans* (20%) em grupo de espessura de 1 mm, enquanto a segunda maior redução após a desinfecção com CHX (40%) seguida pela desinfecção de NaOCl (50%). Na comparação entre 1 mm e 2 mm, observou-se diferença estatisticamente significativa para os *S. mutans* em grupos de aPDT ($p = 0,033$) e NaOCl ($p = 0,028$) e para os *C. albicans*. Para a FS, observou-se diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre o aPDT e o resto dos grupos,

enquanto não houve diferença estatisticamente significativa na força flexural entre os grupos CHX, NaOCl e água ($p > 0,05$) em ambas as amostras de 1 mm e 2 mm. Entre amostras de 1 mm e 2 mm, não foi observada diferença estatisticamente significativa na diferença média de cor após qualquer protocolo de desinfecção ($p > 0,05$). Como conclusão, a terapia fotodinâmica antimicrobiana mostrou uma redução notável na viabilidade fúngica e bacteriana em relação aos VFRs e, também, mostrou maior força flexural comparada com os grupos de CHX e NaOCl. A diferença de cor pós-tratamento foi maior em aPDT em comparação com outros reagentes (Hakami e Alshehri, 2022).

Como um novo tipo de enchimento de reforço, o diamante ultrafino (UFD) é adicionado em materiais de núcleo composto fotocurável. As propriedades dos materiais são então medidas para ver se há alguma melhora. Diferentes teores de vidro de bário e UFD foram adicionados em matriz de resina para fabricar seis grupos de materiais compostos fotocuráveis. Para cada grupo dos materiais, foram medidas a força flexural, a microdureza de Vicker e a profundidade da cura. Os dados da força flexural e da microdureza de Vicker foram então coletados e analisados pela One-Way ANOVA. Para os dois tipos de compósitos com vidro bário de 60% e 70%, apenas uma pequena quantidade de UFD modificada com percentual de peso de 0,2% poderia melhorar a força flexural dos compósitos em 34% e 21%, respectivamente, a

microdureza foi melhorada em 23% e 30% respectivamente. A profundidade de cura dos materiais do núcleo composto foi de mais de 2 mm, que atingiu a demanda dos critérios iso correspondentes. A adição da UFD poderia tornar os materiais do núcleo composto mais escuros e mais cinzentos. A microdureza da UFD pode melhorar as propriedades mecânicas das resinas compostas notavelmente, e não afetará a curabilidade dos materiais, mas o defeito na cor precisa ser reformado (Gu *et al.*, 2007).

Collares *et al.* (2010) avaliaram a radiopacidade, grau de conversão (DC) e força flexural de um cimento dentário experimental, com várias substâncias radiopacas adicionadas. Dióxido de titânio, quartzo, zircônia, óxido de bismuto, sulfato de bário e trifluoreto de itérbio foram adicionados ao cimento experimental em cinco concentrações diferentes. A radiopacidade foi avaliada com um sistema de placas de fósforo, e a radiodensidade dos espécimes foi comparada com uma cunha de alumínio. O DC foi avaliado com espectroscopia infravermelha após 20s de fotoativação. Foram utilizadas amostras com dimensões de 12 x 2 x 2 mm para o teste de força. A radiopacidade dos cimentos dentários experimentais com sulfato de bário e óxido de bismuto a 40% e trifluoreto de itérbio a 30% e 40% não apresentaram diferenças significativas em comparação com 3 mm de alumínio. Os cimentos dentários

experimentais com pelo menos 30% adicionados trifluoreto de itérbio apresentaram radiopacidade satisfatória sem influenciar outras propriedades.

Em outro estudo, os autores avaliaram a influência do sulfato de bário nas propriedades mecânicas do composto de resina de vidro/epóxi. Foram fabricados oito grupos de barra de resina reforçada com fibra de vidro e sulfato de bário/epóxi contendo 0%, 9,7%, 13,9%, 17,7%, 21,2%, 24,4%, 27,3% e 30,1% de sulfato de bário. O teste de dobra de três pontos e o teste de impacto de Charpy foram empregados para medir a força flexural, o módulo de elasticidade e a força de impacto do composto. Verificou-se que o valor da força flexural aumentou cerca de 30% de 0% (635,75 MPa) para 30,1% (822,82 MPa) à medida que a quantidade de sulfato de bário aumentou. Os valores de módulo elasticidade de todos os espécimes do grupo variaram de 23 a 27 GPa, mas não houve significância estatística entre os grupos ($P = 0,524$). A força de impacto diminuiu visivelmente com a adição de sulfato de bário à resina epóxi, enquanto não houve diferença significativa entre os grupos com preenchimento. Em conclusão, o sulfato de bário reduziu a força de impacto da resina; mas ao combinar com o reforço de fibra de vidro, o sulfato de bário melhorou a força flexural do composto (Wang *et al.*, 2008).

Um estudo avaliou as propriedades mecânicas de 5 materiais restauradores: Fuji Triage, Fuji IX GP (ambos ionômero de vidro da GC America Inc., Alsip, Illinois), resina de baixa viscosidade TPH Spectra ST, IRM (ambos Dentsply Sirona, York, Pensilvânia) e resina Herculite XRV (Kerr Corporation, Orange, Califórnia), expostos a 0, 5 ou 10 dias de armazenamento, com 95% de umidade relativa, a 30-60 ° C. Os testes realizados foram a resistência à compressão, dureza, módulo de elasticidade, resistência à flexão, módulo de flexão, sorção e solubilidade de cada material. Como resultado, em relação a dureza, todos os materiais foram afetados. Já em relação a resistência flexural, nenhum dos materiais sofreu prejuízo. A conclusão do estudo mostrou como melhores propriedades mecânicas os materiais de compostos resinosos (Lemon *et al.*, 2020).

2.3 RESISTÊNCIA COESIVA

A resistência coesiva é uma importante característica para avaliar a adesão de materiais às superfícies dentais. Essa característica dos materiais utilizados na odontologia está diretamente ligada ao seu desempenho mecânico e,

consequentemente, ao sucesso do produto empregado (Camargo *et al.*, 2007).

Os ensaios mecânicos para avaliar a resistência coesiva ou de união são preconizados através de testes laboratoriais de tração e de cisalhamento (Van Noort *et al.*, 1989). Portanto, os ensaios de resistência adesiva devem induzir as tensões na interface de união de maneira uniforme para que a interface seja solicitada e não o substrato (Pashley *et al.*, 1995).

Disse e Moskovitz (2018) avaliaram o efeito do hidróxido de cálcio como um material curativo do intrarradicular sobre resistência à fratura de microtração da dentina de dentes primários humanos, *in vitro*. O canal radicular de 30 dentes foi preenchido com hidróxido de cálcio, foram divididos em grupos de dez e foram imersos em soro fisiológico à temperatura ambiente por 7, 30 e 90 dias. Dez dentes com canais radiculares cheios de soro fisiológico estéril foram o grupo controle. A resistência à fratura de microtração foi medida na máquina de testes mecânicos Lloyd. Houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre a força da fratura dos dentes cheios de hidróxido de cálcio após 90 dias (19,1 MPa) em comparação com o controle (35,8 MPa). A força da fratura de microtração dos dentes preenchidos com hidróxido de cálcio diminuiu a uma média de 0,142 MPa por dia. Hidróxido de cálcio colocado em canais radiculares por um

longo tempo teve um efeito significativamente negativo na resistência da dentina radicular.

Um estudo *in vitro* mediu o efeito do preenchimento radicular com hidróxido de cálcio na força da fratura de microtração (MTFS) dos dentes. Um total de 40 incisivos permanentes foram preparados com instrumentos rotatórios e manuais e compactados verticalmente com hidróxido de cálcio. Os dentes foram armazenados em ambiente úmido por 7, 28 e 84 dias. Como grupo controle, 10 dentes foram compactados verticalmente com guta percha e selador. O MTFS dos dentes foi medido (Mpa) utilizando uma máquina Instron. A colocação intracanal de hidróxido de cálcio enfraqueceu o MTFS dos dentes em 13,9 Mpa por 77 dias: uma média de 0,157 MPa por dia. Entre 7 e 84 dias, o MTFS da dentina foi reduzido em 43,9%. Essa diferença foi estatisticamente significativa ($P < 0,05$). Observou-se diferença estatística ($P < 0,05$) entre a média de MTFS da dentina de hidróxido de cálcio entre 7 dias (45,7 MPa) e 28 dias (35,6 MPa) e também entre 7 e 84 dias (31,8 MPa). Houve também uma diferença significativa ($P < 0,05$) entre o MTFS da dentina radicular preenchida de hidróxido de cálcio após 84 dias (31,8 MPa) e a dentina preenchida com guta percha (41,3 MPa) quando usada como material de obturador de controle. O enfraquecimento da dentina em 23-43,9% após o preenchimento do canal radicular com hidróxido de cálcio fornece evidências

convincentes para reavaliar o uso diário deste material na terapia endodôntica (Rosenberg *et al.*, 2007).

Em outra pesquisa, os autores avaliaram *in vitro* o efeito a longo prazo do hidróxido de cálcio (CH) na força de fratura de microtração (MTFS) de dentes humanos tratados endodonticamente. Foram utilizados 105 incisivos humanos extraídos sem cárie. Os dentes foram divididos em sete grupos experimentais de 15 dentes em cada. Os canais radiculares de todos os dentes foram preparados com instrumentados rotativos. Os dentes do grupo controle foram imediatamente obturados e testados para MTFS. O resto dos dentes foram verticalmente compactados com CH e uma mistura de solução salina estéril e selado temporariamente. Os dentes foram armazenados em ambiente úmido por 30, 90, 180, 270, 360 e 540 dias. Em datas agendadas, os canais radiculares foram obturados e, em seguida, os dentes foram testados para MTFS com uma máquina de teste Instron. A introdução de CH nos canais radiculares parece diminuir o MTFS dos dentes com significância estatística ao longo dos dias 180, 270, 360 e 540. Os resultados indicaram claramente que há diferenças estatística significativa entre o grupo 2 e o grupo 7 ($P < 0,001$) e entre o grupo 3 e o grupo 7 ($P < 0,05$). Não houve diferenças estatisticamente significativas entre os demais grupos ($P > 0,05$). Os resultados indicam que os tratamentos de CH a longo prazo podem reduzir

significativamente a força dos dentes, causando um aumento no risco de fratura (Batur *et al.*, 2013).

Os cimentos de óxido de zinco-eugenol (ZOE) são amplamente utilizados como materiais de preenchimento temporário. No entanto, o eugenol já demonstrou ter um efeito prejudicial tanto em resinas compostas quanto em sistemas de união dentinária. Peutzfeldt e Asmussen (1999) examinaram em um estudo *in vitro* se o cimento ZOE também reduziria a eficácia de sistemas de união dentinária relativamente novos. Isso foi feito por determinação da formação de gap ao redor de obturações de resina composta em cavidades dentinárias e da resistência de união da resina composta ao esmalte e à dentina. As superfícies dos dentes envolvidos foram cortados e foram expostos a um cimento ZOE (IRM) ou a um cimento não ZOE (Cavit) por 7 dias antes da aplicação de um adesivo dentinário (Gluma CPS ou Scotchbond Multi-Purpose Plus) e uma resina composta (Z100). A formação de lacunas foi avaliada em um microscópio de luz em $\times 20$ minutos. A resistência de união foi medida em cisalhamento em espécimes de 1 dia. Os valores médios de contração parede a parede foram $0,06 \pm 0,09\%$ com Scotchbond Multi-Purpose Plus e $0,20 \pm 0,24\%$ com Gluma CPS. Os valores médios de resistência de união ao esmalte foram 22 ± 25 MPa para Scotchbond Multi Purpose Plus e 20 ± 23 MPa para Gluma CPS, e à dentina foram 20 ± 22 MPa para Scotchbond Multi-Purpose

Plus e 13 ± 14 MPa para Gluma CPS. O uso de Scotchbond Multi-Purpose Plus resultou em maior resistência de união à dentina e menos contração parede a parede do que Gluma CPS. Não foram encontradas diferenças em contração parede a parede ou na força de união entre os três grupos para qualquer sistema de união dentinária. Assim, o cimento ZOE não influenciou a eficácia de dois sistemas de união dentinária relativamente novos.

No entanto, em outro estudo *in vitro* foi avaliado o efeito da duração da exposição ao cimento óxido-eugenol de zinco (ZOE) sobre a quantidade de eugenol retido na dentina e sobre a força da ligação (μ TBS) em composto de resina. O cimento ZOE (IRM Caps) foi aplicado na dentina de molares humanos (21 por grupo) e avaliado em 1, 7 ou 28 dias. Metade de cada molar foi utilizada para determinar a quantidade de eugenol (por espectrofluorimetria) e a outra metade foi utilizada para testes de μ TBS. A dentina exposta ao ZOE foi tratada com o OptiBond FL usando ácido fosfórico ou com Gluma Classic usando condicionante de ácido etilenodiaminetetraacético (EDTA). Um grupo sem condicionamento (para quantidade de eugenol) e dois grupos não expostos ao ZOE (para quantidade de eugenol e teste de μ TBS) serviram como controles. A quantidade de eugenol variou entre 0,33 e 2,9 nmol mg^{-1} de dentina (valores medianos). Não foi encontrado efeito da duração da exposição ao ZOE. O condicionamento com ácido fosfórico ou EDTA reduziu

significativamente a quantidade de eugenol em dentina. No entanto, para o OptiBond FL, a exposição ao ZOE diminuiu significativamente o μ TBS, independentemente da duração da exposição. Para Gluma Classic, o μ TBS diminuiu após a exposição ao ZOE por 7 e 28 dias. OptiBond FL rendeu um μ TBS significativamente maior do que o Gluma Classic. Assim, o cimento de ZOE deve ser evitado em cavidades que serão posteriormente restauradas com materiais à base de resina (Koch *et al.*, 2013).

Bronzato e colaboradores (2016) avaliaram influência dos métodos de limpeza para remover o selador do canal radicular à base de óxido de zinco (Endomethasone) sobre a força de ligação do adesivo autocondicionante à dentina. Vinte coroas de incisivos bovinos foram cortadas para expor a câmara pulpar, onde foi aplicado um selador à base de óxido de zinco e eugenol (OZE) por 10 minutos em contato com a dentina. Os espécimes foram divididos em quatro grupos de acordo com o método de limpeza da dentina utilizado: G1, sem selador de canal radicular (controle); G2, 0,9% de hipoclorito de sódio (NaOCl); G3, etanol; e G4, seguidos de broca de diamante. Após a limpeza, os dentes foram restaurados com resina composta e Clearfil SE Bond. Todas as amostras foram seccionadas para produzir barra retangulares e a interface de dentina/resina foi submetida a testes de ligação coesiva. Os pontos fortes médios dos títulos foram

analisados utilizando-se ANOVA/Tukey ($\alpha = 0,05$). G3 e G4 mostraram forças de ligação semelhantes ao G1 ($P > 0,05$). Observou-se diminuição significativa da força do vínculo no G2 ($P < 0,05$). G1, G3 e G4, o modo de falha predominante foi o tipo misto. A prevalência do modo de falha adesiva foi verificada no G2. Os métodos de limpeza afetaram a força de ligação do adesivo autocondicionante para dentina afetada com OZE de forma diferente.

Em outro estudo, os autores avaliaram o efeito de materiais forradores na força de ligação de dentina em composto de resina modificada para dentina de dentes decíduos. Quarenta e dois molares decíduos livres de cáries foram aleatoriamente atribuídos a sete grupos ($n = 6$). Seis grupos de teste foram centralmente cobertos com diferentes materiais forradores/protetores básicos: Kerr Life (KL), cimento de óxido de zinco e eugenol (IRM), Ketac Bond (KB), Vitrebond (VB), Dycal (DY) e agregado de trióxido mineral (MTA). Os espécimes foram ligados ao Prime&Bond NT (PB) e restaurados com dyract eXtra. O grupo controle (C) não recebeu pré-tratamento. Após o armazenamento de 24 horas em água destilada (37°C), as amostras foram cortadas e os pontos fortes de ligação de coesão regional (μTBS) das áreas descobertas foram testados. A fractografia foi conduzida sob um microscópio leve e outras análises de interface/superfície foram realizadas sob um SEM. A avaliação

estatística foi realizada utilizando ANOVA (mod. Teste de LSD; $p < 0,05$). Independente da distância ao forrador aplicado, todos os grupos apresentaram μ TBS inferiores à dentina dos dentes primários em comparação com o grupo controle ($p < 0,05$). Os resultados foram os seguintes em MPa(SD)^x: nível de significância/percentual de fraturas adesivas: PB: 34 (10)^{Um}/72%; KL: 23 (25)^B/64%; KB: 15 (12)^C/76%; DY 15 (13)^C/55%; IRM: 14 (10)^C/68%; VB: 12 (10)^C/61%; MTA 12 (10)^C/69%. O estudo concluiu que os materiais forradores reduziram significativamente a força de ligação (μ TBS) da dentina dos dentes decíduos (Frankenberger *et al.*, 2021).

Um estudo avaliou os efeitos da proantocianidina (PA) e clorexidina (CHX) sobre a força da ligação (BS), padrão de falha e morfologia da interface resina-dentina dos selantes endodônticos EndoREZ e AH Plus após 24 h e 6 meses de armazenamento de água. Um total de 120 raízes bovinas preparadas foram divididas em seis grupos: AH Plus, CHX+AH Plus, PA+AH Plus, EndoREZ, CHX+EndoREZ e PA+EndoREZ. A dentina foi tratada por 1 ou 5 min com 2% de CHX ou 15% de PA, respectivamente. As raízes foram preenchidas e armazenadas em água por 24h ou 6 meses ($n = 10$). As fatias de raiz foram submetidas ao teste push-out e à microscopia eletrônica de varredura (SEM). Os dados foram comparados utilizando-se o teste T bidirecional da ANOVA e o t-test do aluno ($\alpha = 5\%$). A

BS diminuiu ao longo do tempo para AH Plus e EndoREZ não tratada ($p < 0,05$). Após 24h, a AH Plus apresentou BS maior que a EndoREZ ($p < 0,001$), sem diferenças entre os tratamentos para ambos os selantes ($p > 0,05$). Aos 6 meses, a EndoREZ apresentou valores BS mais elevados para CHX e PA do que o controle ($p < 0,05$). AH Plus apresentou BS maior que EndoREZ ($p < 0,001$), enquanto com CHX ou PA, BS semelhante foi observado em ambos os selantes ($p > 0,05$). Foram observadas falhas coesas e mistas em todos os grupos. SEM revelou etiquetas de selador na dentina raiz. Em conclusão, a BS diminuiu com o tempo e a AH Plus apresentou BS maior que a EndoREZ em dentina não tratada; no entanto, CHX ou PA melhoraram a BS a longo prazo de EndoREZ. No geral, o tratamento da dentina afetou o padrão de falha e a morfologia da interface resina-dentina, particularmente para EndoREZ (Trindade *et al.*, 2018).

No entanto, em outra pesquisa os autores avaliaram o efeito do modo adesivo e da clorexidina (CHX) na resistência à microtração de um adesivo universal em dentinas hígidas e afetadas por cárie. Seis terceiros molares intactos e seis terceiros molares afetados por cárie foram seccionados para obter duas amostras de dentina por dente. Prime e Bond Elect Universal (Dentsply) foram aplicados em espécimes em dois modos diferentes: Etch-and-rinse (ER, ácido fosfórico para 15s) e auto-etch (SE, sem ácido fosfórico). A CHX 2% (Cavity Cleanser,

Bisco) foi aplicada em ambas as dentinas por 30 s. As amostras foram aleatoriamente atribuídas em oito grupos ($n = 3$) de acordo com os tratamentos aplicados às dentinas: SE; ER; SE + CHX; e ER + CHX. Todos os espécimes foram restaurados com resina composta TPH Spectra High Viscosity (Dentsply) e seccionados para obter espécimes de $0,8 \pm 0,1 \text{ mm}^2$. O teste de força da ligação microtração foi realizado a 1 mm/min. Não houve diferença significativa entre dentina hígida e dentina afetada por cárie ($P = 0,132$). A maior força de ligação foi obtida com a aplicação do ER (31,81MPa). SE + CHX promoveu a menor força de ligação sem diferença estatística para ER + CHX ($P > 0,05$). O modo ER rendeu a maior força de ligação para dentinas híginas e afetadas por cárie. A CHX reduziu a força de ligação para ambas as dentinas, independentemente da aplicação de ácido fosfórico (Lima *et al.*, 2018).

Nassar *et al.* (2020) realizaram uma meta-análise com o objetivo de examinar o efeito da clorexidina 2% após aplicação de ácido na força de microtração de restaurações em resina para diferentes tempos de seguimento. Uma minuciosa pesquisa foi conduzida através de dados em PubMed, Scopus e Embase. Foram incluídos estudos experimentais *in vitro* ou *in vivo* publicados até dezembro de 2018, com um grupo experimental tratado com uma solução de 2% de clorexidina após aplicação ácida e um grupo controle, no qual a restauração final utilizou

resina composta em ambos os grupos. Foram identificados 21 artigos para análise qualitativa e 18 para meta-análise. A diferença nos meios de força de microtração entre os dois grupos foi calculada por diferentes tempos de seguimento. As diferenças foram significativas durante 6 meses (4,30 MPa; IC 95% 2,72-5,89), 12 meses (8,41 MPa; IC 95% 4,93-11,88) e 2-5 anos, incluindo amostras de envelhecimento e termociclismo (9,08 MPa; IC 95% 5,36-12,81). Não houve diferenças significativas para o tipo de adesivo utilizado. Um modelo de meta-regressão mostrou um efeito significativo do tempo na força de microtração. Esse estudo concluiu que a aplicação de uma solução de 2% de clorexidina após a aplicação de ácido aumentou significativamente a força da ligação de microtração para tempos de seguimento de 6 meses ou mais. O tipo de adesivo não teve influência.

Em outra pesquisa realizada, Maravić *et al.* (2019) investigaram, por meio de testes de microtração, gelatina e zimografia in situ, a influência da clorexidina 0,2% (CHX) na resistência de união a longo prazo e na atividade enzimática endógena, contida em adesivo disponível comercialmente. Dentes não cariados (N= 15 por cada grupo) foram submetidos a testes de microtração, induzidos até a falha. A força de microtração foi avaliada imediatamente após 12 meses submersos em saliva artificial, a 37°C. Pó de dentina foi obtido a

partir de dentes adicionais (N=7) para zimografia em gelatina in situ, 3 dentes para cada grupo foram selecionados. A zimografia com gelatina in situ foi realizada em pó de dentina e fatias de dentina, respectivamente, para avaliar a capacidade de 0,2% de CHX misturado dentro do adesivo em inibir a atividade enzimática endógena. A força de microtração foi mais alta em grupos contendo CHX, imediatamente, bem como após o envelhecimento. Verificou-se que a ativação de metaloproteinases endógenas está relacionada à presença de CHX dentro do sistema adesivo e à estratégia de ligação empregada. Sob esta perspectiva, 0,2% de CHX misturada ao adesivo Peak Universal parece aumentar a força de microtração, preservar a força de ligação ao longo do tempo e inibir eficientemente a atividade enzimática endógena em dentina.

As propriedades de um novo tipo injetável de parede do canal radicular, resina de enchimento adesivo, que desenvolvemos, foram estudadas para suas propriedades físicas, adesivo para dentina e canal radicular, e capacidade de vedação. A nova resina consistia em um pó composto por um poli (metacrilato de metila) e radiopacificador de sulfato de bário e líquido composto de monômero de metil e catalisador tributilborano. Uma mistura de ambos os componentes tinha uma consistência adequada para injeção. As propriedades físicas, incluindo a radiopacidade, foram avaliadas de acordo com a

norma ISO. A adesão à dentina e ao canal radicular foi investigada por testes de força de ligação ou por microscopia eletrônica de varredura. A capacidade de vedação apical da nova resina foi comparada por um teste de penetração de corante com o de guta-percha/sealer. Os achados deste estudo indicaram que a nova resina de enchimento tinha propriedades físicas que satisfazem todos os requisitos para materiais de vedação do canal radicular dentário: uma força de ligação de tração à dentina de 7,3 MPa, uma capacidade de vedação significativamente melhor em comparação com a sarjeta-percha/selaria, a capacidade de formação de etiquetas de resina em túbulos dentinários e removibilidade (Imai e Komabayash, 2003).

Um estudo recente avaliou a influência da incorporação de um preenchedor radiopaco à base de zircônio e bário em infiltrantes um experimental e um infiltrante comercial (Icon) sobre as propriedades mecânicas: força coesiva (CS), grau de conversão (DC), sorção de água (WS), solubilidade (SL), radiopacidade e profundidade de penetração. O força coesiva CS (n=10) foi avaliado utilizando-se uma máquina de teste universal. A DC (n=5) foi avaliada em um espectrômetro. Amostras polimerizadas foram dissecadas, pesadas e armazenadas para obter a massa final para testes de WS e SL (n=10). A análise de radiopacidade (n=5) foi realizada utilizando-se um sistema de radiografia digital. A análise de profundidade de penetração

(n=5) foi realizada por microscopia de varredura a laser confocal. Os grupos com 45% de zircônia apresentaram maiores valores de CS, independentemente do infiltrado. Entre os grupos sem adição de partículas, os do infiltrado experimental apresentaram DC maior do que os de Icon. O infiltrante experimental apresentou WS mais baixo que Icon. Todos os grupos apresentaram SL abaixo dos níveis recomendados pela ISO. A radiopacidade superior a 2,24 mmAl (radiopacidade do esmalte) foi observada apenas nos grupos com 45% de zircônia. Todos os grupos obtiveram profundidade de penetração semelhante, mas os grupos que contêm infiltrantes experimentais parecem ter tido extensões de tag mais longas. A adição de 45% de zircônia apresentou bons resultados para CS e WS, bem como SL abaixo do padrão recomendado pela ISO, radiopacidade adequada e profundidade de penetração semelhante aos outros grupos (Pedreira *et al.*, 2021).

Choudhary *et al.* (2020) avaliaram o efeito do teor de sulfato de bário nas propriedades físicas, mecânicas e de desgaste de erosão dos compósitos epóxi reforçados com fibra de vidro. Compósitos com 0 a 30 wt% de sulfato de bário foram preparados pela técnica de moldagem de transferência de resina assistida a vácuo (VARTM) sob condição de pressão controlada. Os compósitos fabricados foram caracterizados para as forças físicas (densidade, conteúdo vazio e dureza), mecânica (resistências à

tesoura de tração, flexural e inter-laminar), propriedades de desgaste mecânico e erosão dinâmicas, incluindo análise numérica e experimental. Os resultados experimentais mostram que a adição de aumento do teor de sulfato de bário resulta em aumento da densidade, conteúdo vazio, dureza, resistência à força interlaminar e resistência à fratura dos compósitos, enquanto as propriedades de tração e flexural foram encontradas para diminuir acima de 10% o teor de sulfato de bário. Os resultados da erosão revelaram que a taxa máxima de desgaste foi encontrada entre as faixas de 45° a 75° ângulo de impacto, que mostra a natureza semi-dúctil dos compósitos. Além disso, foi introduzida a análise da dinâmica do fluido computacional (simulação de CFD pela ANSYS fluente) para calcular a taxa de desgaste erosiva, a cicatriz de erosão e, em seguida, o rastreamento das trajetórias de partículas, a fim de validar os resultados numéricos, comparando os resultados experimentais obtidos para validação. Finalmente, a eficiência da erosão foi calculada em função da velocidade de impacto dos compósitos preenchidos com partículas propostas e amostras erodidas foram analisadas através do microscópio eletrônico de varredura para observar as características de desgaste dos compósitos.

Um estudo de Estrela *et al.* (2005) avaliou a tensão superficial do hidróxido de cálcio (CH) associado a diferentes substâncias (água destilada deionizada, paramonoclorofenol

canforado, digluconato de clorexidina 2%, Otosporin, lauril éter de sulfato de sódio 3%, furacin, PMC furacin) usando tensiômetro. O modelo experimental consistiu na aplicação de uma força para separar um anel de platina imerso na superfície das substâncias, exercido por um tensiômetro. Considerando a metodologia aplicada, pode-se concluir: a água destilada isolada ou associada com o hidróxido de cálcio apresenta alta tensão superficial (70,00 e 68,40 dinas/cm); hidróxido de cálcio associado ao detergente aniônico mostrou baixa tensão superficial (31,60 dinas/cm); paramonoclorofenol canforado mais hidróxido de cálcio apresentou baixa tensão superficial (37,50 dinas/cm); clorexidina 2% associada com hidróxido de cálcio mostrou um alto valor de tensão superficial (58,00 dinas/cm); Otosporin mais hidróxido de cálcio mostrou baixa tensão superficial (35,40 dinas/cm); paramonoclorofenol e furacin associados ao hidróxido de cálcio apresentaram tensão superficial igual a 45,50 dinas/cm; hipoclorito de sódio apresentou alta tensão superficial (75,00 dinas/cm). Conclui-se que Otosporin e seus componentes (hidrocortisona, sulfato de neomicina e sulfato de polimixina) são boa alternativa para reduzir a tensão superficial quando associados ao hidróxido de cálcio.

Pires *et al* (2018) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar a influência de pastas obturadoras de canais radiculares na

resistência de união por microcisoramento (μ SBS) de um sistema adesivo à dentina decídua. A amostra contou com 32 molares decíduos humanos divididos aleatoriamente em quatro grupos experimentais ($n = 8$): pasta de óxido de zinco eugenol (OZE); pasta iodofórmica (pasta Guedes-Pinto); pasta de hidróxido de cálcio espessada com óxido de zinco; e sem pasta de enchimento (controle). As superfícies planas da dentina foram cobertas com uma camada de 1 mm de espessura das pastas por 15 min a 37 °C. As pastas foram removidas mecanicamente das superfícies dentinárias, seguidas de enxágue e secagem. Após a aplicação do adesivo (Adper Single Bond 2, 3M ESPE), os tubos de amido foram colocados sobre a dentina pré-tratada e preenchidos com resina composta (Z250, 3M ESPE). O teste μ SBS foi realizado após 24 h de armazenamento de água a 37 °C. Os menores valores de μ SBS foram alcançados quando o ZOE foi usado. A pasta de óxido de zinco eugenol influenciou negativamente a resistência de união dos sistemas adesivos à dentina decídua. A pasta de Guedes-Pinto à base de iodofórmio e a pasta de hidróxido de cálcio espessada com óxido de zinco não influenciaram os valores de resistência de união por microcisoramento.

2.4 RESISTÊNCIA À FRATURA

De acordo com Anusavice (2005), resistência à fratura é definida como a resistência máxima de um material que será submetido a uma carga de tração, podendo estar associada a tensão de tração, compressão e cisalhamento.

Um estudo avaliou a resistência à fratura de raízes dentárias bovinas enfraquecidas tratadas com várias soluções irrigantes, bem como a aplicação a longo prazo de medicação intracanal de hidróxido de cálcio (ICM). Cento e setenta dentes bovinos foram divididos aleatoriamente em três grupos experimentais (n = 50) e dois grupos controle (n = 10). O Grupo SS foi irrigado com solução fisiológica; grupo CHX foi tratado com 2% de gel de clorexidina e o grupo NaOCl foi irrigado com 1% de hipoclorito de sódio. Após a instrumentação, os canais radiculares foram preenchidos com hidróxido de cálcio e avaliados em diferentes períodos (15, 60, 90, 180 e 360 dias). As amostras foram carregadas em um ângulo de 45° para medir a resistência à fratura através do uso de uma máquina de teste EMIC. Observou-se diminuição da resistência à fratura durante o tempo de curativo do ICM. Os maiores valores de resistência à fratura foram observados no grupo SS com 15 dias de ICM, não diferindo do grupo controle. A irrigação com NaOCl associada ao ICM durante 15 dias apresentou a menor resistência à fratura;

no entanto, não foi observada diferença estatisticamente significativa quando comparada com SS e CHX no mesmo período de tempo. Em períodos mais longos de exposição ao ICM (180 e 360 dias), os canais radiculares irrigados com NaOCl e CHX apresentaram resistência à fratura significativamente menor do que a SS ($P < 0,05$). Os autores concluíram que a apexificação com alterações periódicas de hidróxido de cálcio leva à fraqueza dos dentes independente da solução de irrigação utilizada (Valera *et al.*, 2015).

Zarei *et al.* (2013) avaliaram o efeito do hidróxido de cálcio na resistência à fratura da dentina radicular de dentes humanos em diferentes intervalos de tempo. Após a preparação do canal radicular, cem dentes humanos pré-molares de raízes únicas foram divididos aleatoriamente em dois grupos iguais. Após a colocação de pasta de hidróxido de cálcio dentro do canal, um grupo de dentes foi dividido em 5 subgrupos e incubado por um período de 1 semana ou 1, 3, 6 ou 12 meses a 37°C e 100% de umidade. O segundo grupo de dentes também foi dividido em 5 subgrupos e incubado sob as mesmas condições sem colocação de pasta de hidróxido de cálcio. Depois de montar os dentes em uma máquina de teste de Zwick, a força necessária para quebrar cada dente foi determinada. A análise dos dados foi realizada utilizando-se a análise de uma e duas vias dos testes de variância. Os resultados demonstraram que a força média necessária para

causar fratura difere significativamente entre os dois grupos durante o primeiro, terceiro e sexto meses de incubação ($P = 0,001$, $P < 0,001$ e $P = 0,035$, respectivamente), e a quantidade de força necessária para a fratura foi maior no grupo controle. Portanto, parece que o uso de hidróxido de cálcio como curativo intracanal de longo prazo mostrou uma diminuição significativa na carga máxima na fratura quando comparado com os grupos de controle no final do primeiro, terceiro e sexto meses de tratamento e sugeriria que o uso de Ca(OH)_2 por períodos maiores que 1 mês deve ser usado com cautela.

Kazandag *et al.* (2016) avaliaram a resistência à fratura de raízes dentárias imaturas simuladas reforçadas com agregado de trióxido mineral (MTA) ou dois materiais de resina composta (CR). Cem raízes extraídas de incisivos maxilares humanos maduros foram descoroados e seccionados em 9 mm mais apicalmente da linha de descoronação e divididos aleatoriamente em cinco grupos ($n = 20$). No Grupo 1 (controle negativo), as raízes não receberam tratamento. Nos grupos 2-5, os canais foram ampliados para 2,1 mm de diâmetro para simular raízes imaturas, preenchidos com hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e incubados por 7 dias. Após a remoção do Ca(OH)_2 , os canais do Grupo 2 (controle positivo) ficaram sem preenchimento. Os canais dos grupos 3, 4 e 5 foram preenchidos com MTA, BisFil 2B fluído CR ou BisFil II posterior CR, respectivamente. Após mais

incubação por 30 dias, as amostras foram embutidas em cilindros de acrílico e carregadas horizontalmente em uma máquina de teste universal a velocidade cruzada de 5 mm min⁻¹ até que a fratura ocorresse. Foram registradas carga (N) e padrão de fratura. A carga na fratura foi significativamente menor (t-test, $P = 0,003$) no Grupo 2 ($630 \pm 199,12$) do que no Grupo 1 ($896,98 \pm 311,79$). Não difere significativamente entre os grupos 1, 3, 4 e 5 (anova, $P > 0,07$). O padrão de fratura também não difere entre os grupos. Dentro das limitações deste estudo, o preenchimento do canal radicular com MTA e dois materiais CR afetou a resistência de raízes imaturas simuladas a níveis comparáveis com raízes intactas.

No entanto, um estudo realizado por Żuk-Grajewska *et al.* (2021) compararam a força de fratura das raízes humanas extraídas com os plugues apical de agregado de trióxido mineral (MTA) misturados com a solução salina tamponada com fosfato de Ca e Mg (PBS) ou água, com e sem pré medicação do canal de hidróxido de cálcio (CH). Um total de 180 dentes humanos de raízes únicas foram preparados para se assemelhar a raízes imaturas e divididos em grupos ($n = 20$). O controle negativo recebeu apenas irrigação do canal, e o controle positivo recebeu tratamento intracanal com CH por duas ou doze semanas. MTA misturado com água foi utilizado no Grupo 1: (I) sem pré-medicação CH - MTA(W); (II) após 2 semanas pré medicação

CH - 2/52CH + MTA(W); e (III) após 12 semanas de pré-medicação ch - 12/52 CH + MTA(W). MTA misturado com PBS foi utilizado no Grupo 2: (I) sem pré-medicação CH - MTA(PBS); (II) após 2 semanas de pré-medicação CH - 2/52CH + MTA(PBS); e (III) após 12 semanas de pré-medicação CH - 12/52 CH + MTA (PBS). Uma força compressiva foi aplicada em cada raiz até o ponto de fratura. Os resultados foram analisados pelos testes de comparações múltiplas de Kruskal-Wallis e Dunn ($P < 0,05$). Não houve diferença significativa entre os grupos MTA(W), MTA(PBS) e 2/52CH + MTA(PBS), e os três grupos foram significativamente ($P < 0,01$, $P < 0,05$ e $P < 0,05$, respectivamente) mais resistentes à fratura do que o controle negativo. No Grupo 1, as amostras que receberam dois- ($P < 0,01$) e doze semanas ($P < 0,001$) pré-tratamento CH foram mais propensos à fratura do que aqueles que não o fizeram. Não foi encontrada diferença entre os grupos de controle. As raízes do grupo MTA (PBS) apresentaram maior confiabilidade ($P < 0,05$) do que o grupo MTA(W) quando comparado pelo módulo Weibull. A diferença também esteve presente quando foi utilizada uma pré-medicação CH de 2 semanas. O agregado de trióxido mineral misturado com soro fisiológico tamponado de fosfato de Ca e Mg teve um efeito de fortalecimento significativo na resistência à fratura de raízes estruturalmente fracas, mesmo quando a pré-medicação de hidróxido de cálcio de curto prazo

tinha sido usada. O MTA misturado com a água perdeu seu efeito de fortalecimento sobre as raízes humanas quando o pré-tratamento CH de 2 ou 12 semanas tinha sido usado. O uso de curativo CH por até 12 semanas não teve efeito negativo na resistência à fratura das raízes humanas.

Phukan *et al.* (2017) realizaram um estudo para comparar os efeitos *in vitro* de quatro diferentes seladores do canal radicular na resistência à fratura dos dentes tratados endodonticamente. Foram utilizados para o estudo 75 pré-molares humanos extraídos. Os dentes foram divididos em cinco grupos com base no tipo de seladores do canal radicular utilizados. Gutta-percha foi utilizado para todas as amostras: Grupo I: Ah Plus, Grupo II: MTA Fillapex, Grupo III: Apexit, Grupo IV: cimento de óxido de zinco-eugenol (ZOE), Grupo V: Controle (dentes não obturados). Os dentes foram incorporados em blocos de resina acrílica e a força de fratura foi medida por meio de uma máquina de teste universal (Equipamentos de Teste Asiáticos). Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente por meio do teste unidirecional ANOVA e pós-hoc (teste de Tukey). Todos os grupos apresentaram resultado estatisticamente significativo ($P < 0,05$). O Grupo I e o Grupo II apresentaram maior resistência à fratura do que outros três grupos. Houve diferença comparável na força de fratura entre o Grupo I e o Grupo II. Além disso, não houve diferença estatisticamente

significativa entre o Grupo III e o Grupo IV e entre o Grupo IV e o Grupo V. Com base neste estudo *in vitro*, o selador à base de resina foi mais eficaz em comparação com outros seladores radiculares e o grupo controle. No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre o ZOE e o grupo controle.

Outro estudo também avaliou os efeitos de diferentes seladores de canal radicular na resistência à fratura dos dentes tratados endodonticamente. Foram utilizados para o estudo 75 pré-molares mandibulares humanos recém-extraídos. O comprimento foi padronizado para 14 mm e todos os dentes foram preparados biomecanicamente e divididos em cinco grupos diferentes com base no tipo de seladores do canal radicular utilizados. Grupo I: Roeko + guta percha, Grupo II: AH mais + guta percha, Grupo III: PULPDENT + guta percha, Grupo IV: Cimento de óxido de zinco + guta percha, Grupo V: Controle (dentes não obturados). Os dentes foram incorporados em blocos de resina acrílica e forças compressivas foram medidas por meio de máquina de teste universal (Instron). Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente por meio de ANOVA unidirecional e teste t. Todos os grupos apresentaram resultado estatisticamente significativo ($P < 0,05$). Os dentes obturados com o Grupo I e o Grupo II apresentaram maior resistência à fratura do que os dentes obturados com outros três Grupos. Verificou-se que os dentes obturados com o grupo III apresentaram melhor

resistência à fratura do que o Grupo IV e não houve significância estatística entre o Grupo V. Concluiu-se que ambos os selantes à base de resina utilizados neste estudo foram igualmente eficazes em comparação com os seladores à base de óxido de zinco e o grupo controle. No entanto, não foram obtidos resultados significativos quando a comparação foi feita entre o óxido de zinco-eugenol e a gutta-percha e o grupo controle (Bhat *et al.*, 2012).

Em 2008, Ribeiro e colaboradores avaliaram a influência de diferentes materiais endodônticos na suscetibilidade à fratura radicular. Setenta e dois incisivos mandibulares foram seccionados 1mm abaixo da junção de amelocementária para obter raízes de 12 mm de comprimento. As raízes foram submetidas à preparação quimicomecânica com os instrumentos rotativos do sistema Profile. A obturação dos canais radiculares foi realizada com os seguintes materiais de enchimento (n=12): GI, dentes não preenchidos (controle); GII, Endofill+gutta-percha; GIII, Sealer 26+gutta-percha; GIV, AH Plus+gutta-percha; GV, Epifania+gutta-percha; GVI, Epiphany+Resilon. Após o tempo de ajuste dos seladores, cada raiz foi incorporada em resina acrílica. As amostras foram então submetidas a teste de resistência à fratura usando uma máquina de teste Instron a 1mm/min. O teste ANOVA não mostrou diferença estatística significativa ($p>,05$) entre GI (162,16+/-41,4N), GII (168,46+/-

37,5N), GIII (164,83+/-35,7N), GIV (168,29+/-38,7N), GV (172,36+/-20,6N) e GVI (193,11+/-42,8N). Os materiais centrais (guta-percha ou Resilon) combinados com os seladores endodônticos testados não são capazes de aumentar a resistência à fratura radicular em canais submetidos à preparação quimomecânica.

Hawkins e colaboradores (2015) avaliaram os efeitos de três formulações comerciais de hidróxido de cálcio (Vitapex, Ultracal XS e Pulpdent) sobre a resistência à fratura da dentina em relação ao tempo, sabendo-se que a Vitapex leva em sua composição iodofórmio. Foram coletados 244 incisivos decíduos de cordeiro, limpos e moldados, e preenchidos com as três diferentes formulações de pastas de hidróxido de cálcio e um grupo controle. Em um, três e seis meses, esses dentes foram fraturados em uma máquina instron para determinar a resistência à fratura. Não foram observadas diferenças estatísticas entre nenhum dos grupos experimentais, nem entre os grupos experimentais e grupos controle. Com base nos resultados, os autores concluíram que parece haver evidências insuficientes para apoiar que vitapex, Ultracal XS ou Pulpdent causarão uma diminuição na resistência à fratura da dentina dentro de um período de 6 meses.

Um estudo realizado com o objetivo de avaliar a resistência à fratura da dentina radicular no uso a longo prazo de CH,

clorexidina (CHX) com licopeno (LP) coletou 60 pré-molares permanentes de raízes únicas, realizando uma instrumentação completa. As amostras foram divididas em três grupos com base no medicamento intracanal utilizado. Grupo 1 - sem medicação (controle), grupo 2 - mistura de 1,5 g de CH e 1 ml de 2% CHX (CHCHX), grupo 3 - mistura de 1,5 g de CH, 1 ml de CHX e 1 ml de solução LP de 5% (CHCHXLP). Após o período de armazenamento de cada grupo durante 1 semana e 1 mês, a estrutura radicular medindo 8 mm foi seccionada e testada para resistência à fratura. Não houve diferença estatística entre todos os grupos em 1 semana. No período de uma semana, a resistência à fratura foi elevada no grupo controle numericamente do que os outros dois grupos. No período de 1 mês, a resistência à fratura foi elevada no grupo controle, e há uma diferença de significância estatística entre o controle e o grupo CHCHX e entre o grupo CHCHX e CHCHXLP. O estudo concluiu, portanto, que a adição de LP não diminuiu a resistência à fratura da dentina radicular após 1 mês (Madhusudhana *et al.*, 2015).

Aksel *et al.* (2017) avaliaram a resistência da fratura radicular vertical (VRF) das raízes permanentes preenchidas por trioxide mineral (MTA) utilizando três veículos diferentes. Foram selecionados 40 pré-molares humanos e o comprimento da raiz foi padronizado em 9 mm. Foi realizada a simulação de ápices dentários imaturos e as raízes reparadas foram atribuídas em três

grupos experimentais de acordo com o veículo usado (água destilada DW, profilazol glicol-PG, clorhexidine-CHX) e grupo controle (n=10). Para simular uma membrana periodontal, a porção apical de todas as raízes foi coberta com cera para obter uma camada de 0,2 a 0,3 mm de espessura antes de incorporar as raízes em cilindros acrílicos. Foi aplicada uma força vertical (1mm/min) utilizando uma máquina de teste universal e a carga máxima (F-max) que ocorreu a fratura e o modo de fratura foi registrado. Os dados foram apresentados como desvios médios e padrão. A análise estatística foi realizada utilizando-se Kruskal-Wallis, Mann-Whitney U Test para múltiplas comparações. De acordo com os resultados, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os valores de força da fratura dos grupos experimentais. O MTA aumenta a resistência de dentes permanentes imaturos ao VRF. Com base nos resultados deste estudo, pode-se concluir que a mistura de MTA com CHX ou PG como o veículo não altera a resistência vrf de raízes permanentes imaturas simuladas.

Durigon *et al.* (2020) avaliaram o efeito de diferentes protocolos de irrigação endodôntica em propriedades mecânicas de dentina e resistência à fratura de raízes com 0,5 mm (raízes enfraquecidas) e 1,5 mm de espessura. Os protocolos de irrigação foram os seguintes: Água destilada (DW) + Ácido tetraáctico de etilenodiamina (EDTA); extrato de semente de uva (GSE) +

EDTA; hipoclorito de sódio (NaOCl) + EDTA; NaOCl + EDTA + GSE; hipoclorito de cálcio (Ca(ClI)₂) + EDTA; Ca(ClI)₂ + EDTA + GSE; clorexidina (CHX) + EDTA; CHX + EDTA + GSE. As amostras foram preparadas e a resistência à fratura de raízes com espessura de dentina de 0,5 mm e 1,5 mm, e restaurada com pin de fibra de vidro revestido com resina composta e coroas metálicas, foram avaliadas; o modo de falha também foi avaliado. Em relação à resistência à fratura, não foi obtida diferença estatística entre os protocolos da irrigação ($p > 0,05$), com exceção do CHX ($p = 0,0031$) e CHX + GSE ($p = 0,0001$) que apresentaram aumento nos valores de resistência à fratura nas raízes com espessura de 1,5 mm. Obteve-se uma taxa de falha irreparável nos grupos NaOCl, enquanto que houve predomínio de falha reparável nos outros grupos.

Outro estudo avaliou o efeito do hidróxido de cálcio (CH), combinado com clorexidina (CHX), pasta de antibiótico duplo (DAP) e sinvastatina como medicamentos intracanaís sobre a resistência à fratura da raiz humana. Foram coletados 122 pré-molares de raízes únicas que foram extraídos por razões periodontais para este estudo *in vitro*. Todos os dentes foram descoroados e os canais radiculares foram preparados pelo sistema ProTaper, e NaOCl 2,5% foi usado para irrigação. A camada afetada foi removida utilizando NaOCl 5,25% e ácido etilenodiaminatetraacético 17% (EDTA) cada um por 3 min. As

amostras foram divididas aleatoriamente em cinco grupos com base no medicamento: (1) CH (2) CH + CHX (3) Simvastatina (4) DAP (5) Grupo de controle. Todos os espécimes de cada grupo foram incubados durante 1 semana (Subgrupo A) e 1 mês (Subgrupo B). Em seguida, os medicamentos foram removidos e preenchidos com guta-percha e selador AH26. Todas as amostras foram testadas para resistência à fratura. Os dados foram avaliados estatisticamente com o software SPSS 17. Os testes ANOVA e Mann-Whitney foram utilizados. Embora CH e CH + CHX tenham aumentado a resistência à fratura em um período de 1 semana, não houve diferença significativa entre os grupos após 1 mês. Sob as limitações deste estudo, CH e CH + CHX, DAP e simvastatina não têm efeito negativo sobre a resistência à fratura radicular quando utilizados como medicamentos intracanaais por <1 mês (Rahimi *et al.*, 2022).

Um estudo de Neto (2017) avaliou a influência de medicações intracanaais utilizadas na revitalização pulpar na resistência a fratura de dentes com rizogênese incompleta. Cento e oitenta dentes bovinos foram seccionados na coroa e na região apical e fragilizados internamente. Os canais foram irrigados com 20ml de hipoclorito de sódio e posteriormente a medicação foi inserida nos grupos experimentais: pasta de hidróxido de cálcio (HC) e da pasta tripla antibiótica (PTA – metronidazol, ciprofloxacina e minociclina), com 60 dentes em cada grupo. No

grupo controle (n=60), nenhuma medicação foi utilizada. O teste de resistência a fratura foi realizado após 7, 14 e 21 dias, sendo 20 amostras fraturadas em casa período numa máquina de ensaio universal no teste de compressão, com velocidade de 1mm/min. Na primeira semana de análise não houve diferença entre os grupos. Na segunda e na terceira semana, o grupo PTA apresentou valores estatisticamente menores de resistência de fratura do que o grupo controle. Não houve diferença estatística entre o HC e o controle nos três tempos avaliados. Na análise intra-grupo, verificou-se que na terceira semana os grupos PTA e HC reduziram significativamente a resistência a fratura em relação a primeira semana. Em conclusão, o tempo em que a PTA e o HC permaneceram no canal influenciou na resistência a fratura dos dentes bovinos com rizogênese incompleta simulada, sendo que a partir da segunda semana, a redução foi significativa para o grupo PTA.

3 PROPOSIÇÃO

O presente estudo teve como objetivo:

- Avaliar, *in vitro*, a influência de uma nova pasta obturadora para dentes decíduos nas propriedades mecânicas da dentina radicular.
- Avaliar, *in vitro*, a influência de uma nova pasta obturadora para dentes decíduos na microdureza, por meio de microdurômetro Vickers;
- Avaliar, *in vitro*, a influência de uma nova pasta obturadora para dentes decíduos na resistência flexural, resistência coesiva e resistência à fratura da dentina radicular, em máquina de ensaios universal.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 SELEÇÃO DAS AMOSTRAS

O estudo não necessitou ser submetido à apreciação do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade de Passo Fundo (UPF), pelo fato de que as amostras foram compostas de dentes bovinos extraídos de animais abatidos para fins comerciais. Os dentes foram doados pelo Açougue Progresso e pela Escola Estadual Celeste Gobbato, ambos localizados na cidade de Palmeira das Missões (Palmeira das Missões, RS, Brasil). Para a realização deste trabalho, foram utilizados 130 dentes bovinos. Todos os dentes foram limpos com curetas periodontais (Figura 1), imersos em soro fisiológico a 0,9% e armazenados sob refrigeração, por no máximo 3 meses antes de sua utilização.



Figura 1: Limpeza dos dentes bovinos com curetas de periodontia.

A metodologia para a confecção das amostras do teste de microdureza foi realizada de acordo com Souza *et al.* (2021), enquanto que a confecção das amostras dos demais testes foi realizada de acordo com Cecchin *et al.* (2017).

A nova pasta obturadora, chamada de Pasta Experimental, foi formulada por um estudo prévio no Instituto de Saúde, da Universidade de Passo Fundo (Passo Fundo, Rio Grande do Sul), no curso de Pós-Graduação em Odontologia. Esse material é composto por Hidróxido de Cálcio (Ca (OH)_2), Clorexidina (CHX), Sulfato de Bário (BaSO_4) e Sulfato de Neomicina, denominado de Pasta Experimental, e foi manipulada no presente

estudo no Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Passo Fundo, no curso de Farmácia (Figura 2), sob supervisão da Profa. Dra. Charise. A Pasta Experimental foi utilizada na realização dos testes desta pesquisa, comparando o desempenho nas propriedades mecânicas da dentina radicular com um grupo controle e mais três materiais obturadores endodônticos para dentes decíduos, dentre os quais se incluem: Hidróxido de Cálcio Ultracal XS (Ultradent, Indaiatuba, SP, Brasil), Cimento de Óxido de Zinco e Eugenol (SS White, Rio de Janeiro, RJ, Brasil) e Cimento Endodôntico Feapex (Fórmula e Ação, São Paulo, SP, Brasil).



Figura 2: Componentes da Pasta Experimental.

3.2 MICRODUREZA DENTINÁRIA

Cinquenta dentes bovinos foram utilizados neste teste. A porção coronária foi seccionada na junção amelocementária, obtendo um remanescente radicular de 16 mm de comprimento. Dois sulcos longitudinais foram confeccionados nas faces vestibular e lingual, em toda a extensão do remanescente radicular, utilizando disco de carborundun dupla face (American Burrs, Palhoça, Santa Catarina). As raízes foram clivadas em duas metades (Figura 3) com o auxílio de uma lâmina de micrótomo, provendo duas amostras de cada raiz, totalizando 100 amostras.



Figura 3: Clivagem das raízes dos dentes bovinos.

As 100 amostras foram fixadas em cano PVC com resina acrílica, deixando a porção dentinária exposta para cima (Figura 4). Na sequência, as amostras foram lixadas com lixas abrasivas de papel de granulação 180, 320 e 600 (Metkon, Bursa, Turquia) (Figura 5) e polidas com lixas de diamante (Metkon, Bursa, Turquia), sob constante refrigeração com água destilada, promovendo o nivelamento da amostra dentinária. As amostras foram colocadas em recipientes plásticos contendo água destilada, de forma que fiquem totalmente cobertas. Os recipientes foram inseridos em cuba ultrassônica, sendo realizado um ciclo de lavagem pelo período de 1 minuto para remoção de detritos decorrentes da confecção das amostras (Figura 6). Por fim, as amostras foram secas com cânula de aspiração e gaze.



Figura 4: Raízes clivadas e fixadas com a porção dentinária exposta, em cano PVC com resina acrílica.



Figura 5: Amostras sendo lixadas com lixas abrasivas.



Figura 6: Lavagem das amostras em cuba ultrassônica.

As 100 amostras foram divididas em 5 grupos experimentais (n=20), de acordo com o protocolo testado, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Divisão dos grupos experimentais de acordo com as substâncias utilizadas no Teste de Microdureza:

Grupo 1	Controle (soro fisiológico)
Grupo 2	Pasta de Hidróxido de Cálcio
Grupo 3	Pasta de Óxido de Zinco e Eugenol
Grupo 4	Pasta Iodoformada
Grupo 5	Pasta EXPERIMENTAL

As amostras foram inseridas em recipientes plásticos com tampa contendo soro fisiológico (grupo controle) ou a pasta obturadora (Figura 7), ficando totalmente cobertas pelo material testado, fechando a tampa do recipiente plástico. Após 21 dias de imersão nas pastas obturadoras, as amostras foram irrigadas com soro fisiológico estéril, para remoção total do material, sendo secas com cânula de aspiração e gaze.

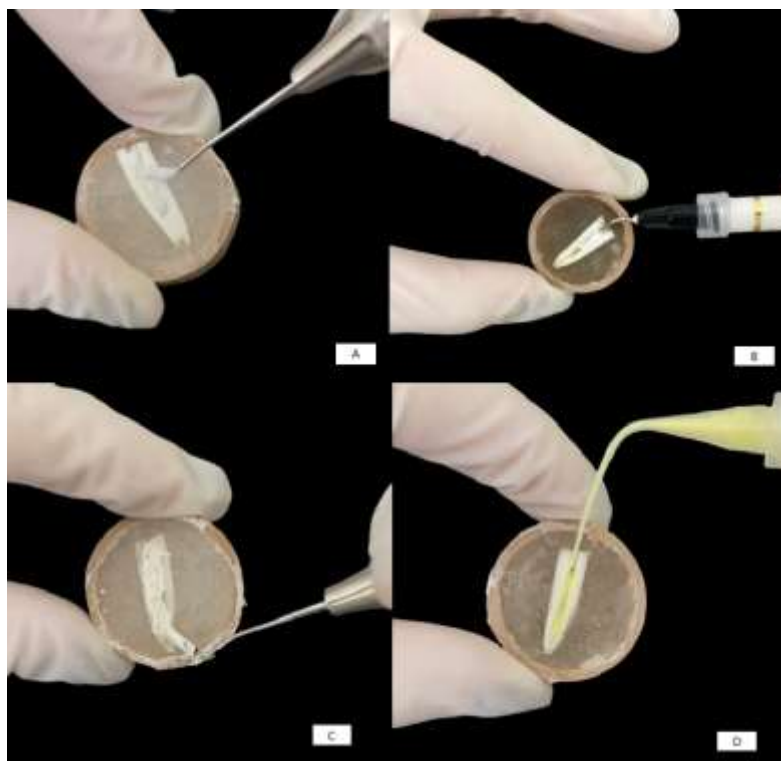


Figura 7(A-D): A) Pasta Experimental; B) Ultracal; C) OZE; D) Feapex

Na sequência, cada amostra foi submetida à avaliação de microdureza da dentina radicular, utilizando um microdurômetro Vickers (Emco Test, Kuchl, Austria) (Figura 8), em uma magnificação de 250x, profundidade de 300 μm , carga de 300 g e um tempo de permanência de 20 segundos do dispositivo. Em cada amostra, três edentações foram realizadas conforme descrito por Cruz-Filho *et al.*, em 2011. A primeira edentação foi feita a

uma distância de 1.000 μm da entrada do canal radicular e duas outras edentações foram feitas a uma distância de 200 μm uma da outra. O valor de microdureza representativo de cada amostra foi obtido por meio da média dos valores de microdureza obtidos das três edentações.



Figura 8: Teste de Microdureza em microdurômetro Vickers

3.3. TESTE DE RESISTÊNCIA FLEXURAL

Quinze dentes bovinos foram utilizados neste teste, os quais tiveram suas coroas removidas com o auxílio de discos de corte de diamante (Figura 9), sob constante refrigeração com água. Logo após, um corte paralelo ao longo eixo foi realizado a fim de obter duas metades da raiz. Em seguida, cada metade foi dividida em terços perpendicularmente ao longo eixo, a porção mais apical foi descartada a fim de obter 4 espécimes de cada raiz. Para a padronização no tamanho das amostras, foram utilizadas lixas abrasivas obedecendo uma sequência de granulações decrescentes. Ao todo, teremos 60 palitos de dentina em formato retangular (1,8 mm de espessura X 1,8 mm de largura X 5,0 mm de comprimento) (Figura 10).



Figura 9: Remoção das coroas com disco de carborundum.



Figura 10: Amostras transformadas em palito de dentina.

As 60 amostras foram divididas 5 grupos experimentais (n=12), conforme descrito previamente. Após 21 dias de imersão nos protocolos testados (Figura 11), o teste de resistência flexural foi realizado utilizando um dispositivo de três pontos em miniatura com uma extensão de suporte de 3 mm, no qual cada palito foi inserido no vão de suporte. Uma carga em MPa foi aplicada na porção central do palito por meio de uma Máquina Universal de Ensaio (EMIC DL 2000) à uma velocidade de 0,5 mm/minuto até a fratura (Figura 12). A resistência à flexão (FS) foi calculada utilizando a seguinte fórmula: $FS = 3PL/2bd^2$, onde P representa a carga máxima até o momento da fratura (N), L representa a distância entre os pontos de apoio (mm), b representa a largura do palito (mm) e d representa a espessura do palito (mm). Os dados obtidos foram expressos em Megapascal (MPa).



Figura 11: Imersão de amostra do grupo controle em soro fisiológico.



Figura 12: Teste de resistência flexural, utilizando um dispositivo de três pontos em máquina de ensaios universais.

3.4. TESTE DE RESISTÊNCIA À FRATURA

Cinquenta dentes bovinos foram utilizados neste teste. Após a remoção da porção coronária, utilizando uma cortadora de precisão Isomet 1000 (Buehler, Illinois, Estados Unidos), sob constante refrigeração, foram obtidas raízes retas de 15 mm de comprimento. Para a padronização das raízes, foram realizadas marcações de referência nas superfícies radiculares por meio de uma caneta de retroprojektor, cuja localização foi obtida a partir da utilização de uma régua-paquímetro digital. A primeira marcação foi realizada 2 mm abaixo do corte superior, a segunda marcação foi feita 2 mm acima do ápice radicular e a terceira marcação na metade das distâncias, entre as duas marcas.

Os canais radiculares foram preparados com brocas Largo (MK Life, Porto Alegre, Rio Grande do Sul) que se adaptaram ao diâmetro do canal radicular. Durante esse procedimento foram realizadas medições constantes com paquímetro digital adaptado para a porção interna dos canais, até a obtenção de paredes dentinárias de 1 mm de espessura em todas as raízes (Figura 13), sendo água destilada a substância que foi utilizada para remover o material proveniente da preparação do canal radicular. As raízes foram embebidas em resina acrílica utilizando moldes cilíndricos

plásticos de PVC com $\frac{1}{2}$ polegada de espessura com 20 mm de altura, mantendo uma exposição radicular de 3 mm para simular o espaço biológico.



Figura 13: Amostras com espessura interna em todas as faces de 1mm.

As 50 amostras foram divididas em 5 grupos experimentais (n=10), conforme descrito previamente. Os canais radiculares foram preenchidos com soro fisiológico estéril (controle) e, com auxílio de lima ou as próprias seringas dos fabricantes (Figura 14), as pastas obturadoras testadas, respectivamente, até que houvesse o extravasamento do material testado para a entrada do canal radicular. As raízes foram seladas com bolinha de algodão

estéril e material restaurador provisório. Após 21 dias, as amostras foram irrigadas com soro fisiológico estéril, para remoção total do material, e foram posicionadas na parte inferior de uma Máquina Universal de Ensaio (EMIC DL 2000). Uma carga compressiva foi aplicada verticalmente às superfícies coronais das raízes com uma velocidade de carregamento de 1 mm/minuto até a ocorrência da fratura (Figura 15). A carga em que ocorreu a fratura foi registrada e expressa em Newtons (N).

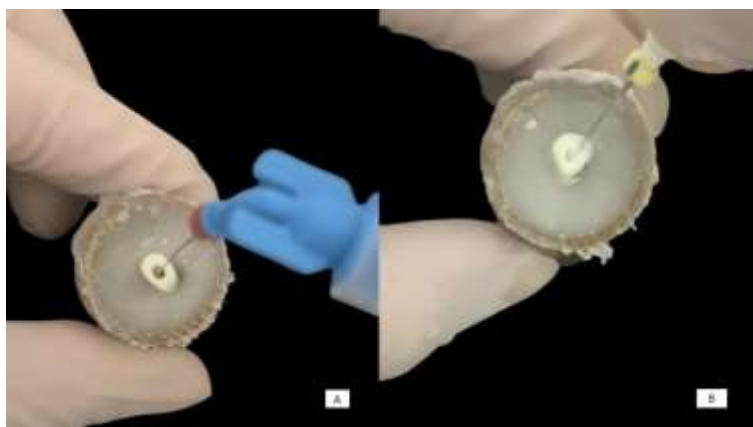


Figura 14 (A-B): A) Inserção de Ultracal no canal radicular; B) Com auxílio de uma lima, inserção da Pasta Experimental no canal radicular.



Figura 15: Teste de resistência à fratura em máquina de ensaios universais.

3.5. TESTE DE RESISTÊNCIA COESIVA

Quinze dentes bovinos foram utilizados neste teste. As coroas foram removidas com disco de carborundun, sob constante refrigeração. Logo após, as raízes foram seccionadas no longo eixo do dente, transformando em duas metades da porção radicular. Em seguida, um corte perpendicular ao longo eixo foi realizado nas duas metades para produzir 4 fragmentos de dentina radicular. Os espécimes foram cortados manualmente em formato de ampulheta usando uma broca cilíndrica com área transversal de aproximadamente $1,0 \text{ mm}^2$. Ao todo, foram obtidas 60 amostras de dentina em formato de ampulheta (Figura 16).

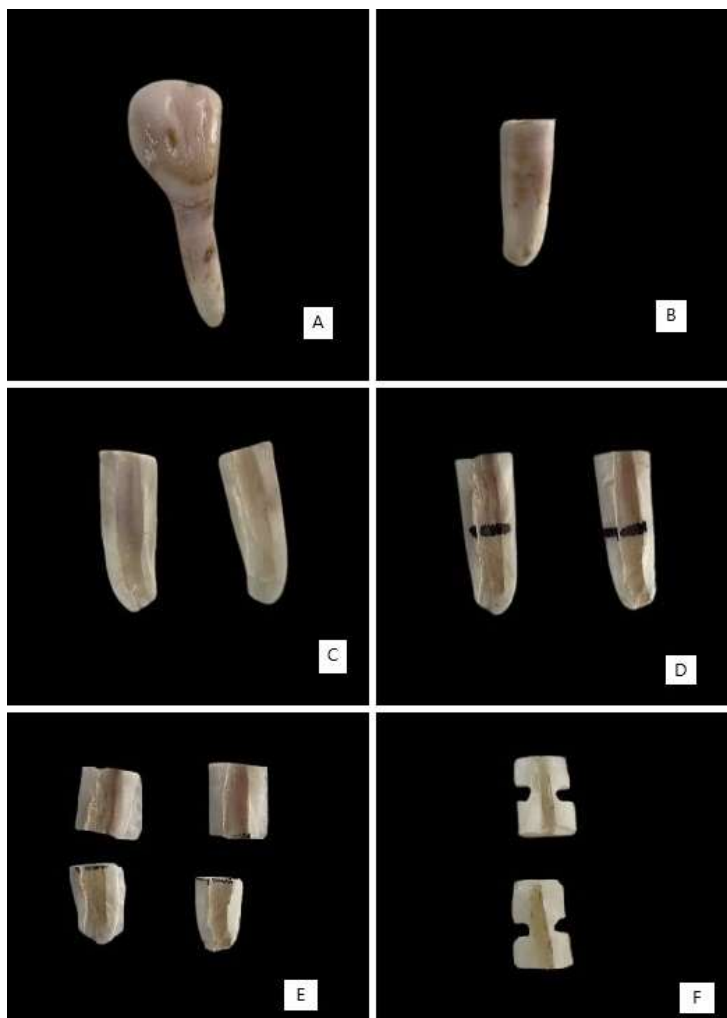


Figura 16 (A-F): A) Dente bovino limpo e pronto para o corte; B) Remoção da porção coronária; C) Corte ao longo eixo da raiz, transformando em dois fragmentos radiculares; D) Marcação perpendicular ao longo eixo; E) Corte perpendicular ao longo eixo do das porções radiculares, formando 4 fragmentos; F) Formação final das amostras, em forma de ampulheta.

As 60 amostras foram divididas 5 grupos experimentais (n=12), conforme descrito previamente. Após 21 dias de imersão nos protocolos testados, cada amostra foi fixada em uma alça de teste microtênsil com cola de cianoacrilato (Loctite Super Bonder; Henkel Loctite Corporation, Rocky Hill, CT, EUA) e submetido à uma carga de coesiva a 0,5 mm/min em uma máquina de teste (EMIC DL 2000) (Figura 17). A área da seção transversal no local da fratura foi medida com paquímetro digital e a resistência coesiva (UTS) será calculada pela seguinte fórmula: $\sigma = F / A$, onde σ representa a resistência coesiva máxima, F (N) representa a força usada e A (mm²) representa a área no local da fratura. Os dados obtidos também foram expressos em MPa.



Figura 17: Teste de Resistência Coesiva em máquina de ensaios universais EMIC.

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada com o programa IBM-SPSS (Armonk, NY, Estados Unidos), com nível de significância estabelecido em 5%. O teste Kolmogorov–Smirnov foi utilizado para confirmar a normalidade dos dados. Na sequência, o teste One-way ANOVA, seguido pelo teste Tukey HSD, foram utilizados para as múltiplas comparações em todas as avaliações.

4 RESULTADOS

4.1 MICRODUREZA

A pasta Feapex apresentou o melhor valor de microdureza (40,97), quando comparada com o grupo controle e com as outras pastas testadas. A Pasta Experimental apresentou um valor muito semelhante a Feapex (40,27). As amostras imersas em Ultracal apresentaram o valor mais baixo de microdureza (36,10). No entanto, as amostras avaliadas em teste de microdureza não apresentaram diferença estatística entre os grupos, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Média (desvio padrão) dos valores de microdureza da dentina radicular após protocolos testados.

Grupo	Valores de Microdureza
Soro Fisiológico	39.88 (6.20) ^A
Ultracal	36.10 (8.90) ^A
OZE	37.28 (7.60) ^A
Feapex	40.97 (7.40) ^A
Pasta Experimental	40.27 (6.30) ^A

* Diferentes letras maiúsculas, na coluna, indicam diferenças significativas entre os grupos ($p < 0,05$);

**OZE, óxido de zinco e eugenol.

4.2. RESISTÊNCIA FLEXURAL

Neste teste, o as amostras que ficaram imersas em soro fisiológico apresentaram o melhor valor de resistência flexural (253,11). O Ultracal apresentou resultado melhor do que as pastas OZE (249,44), Experimental (236,14) e Feapex (211,21), permanecendo esta última com o menor valor de resistência a flexão. Porém, as amostras avaliadas em não apresentaram diferença estatística entre os grupos, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Média (desvio padrão) dos valores de resistência flexural da dentina radicular após protocolos testados.

Grupo	Valores de resistência flexural
Soro Fisiológico	253.11 (30.40) ^A
Ultracal	252.93 (21.74) ^A
OZE	249.44 (28.15) ^A
Feapex	211.21 (34.97) ^A
Pasta	236.14 (20.68) ^A
Experimental	

* Diferentes letras maiúsculas, na coluna, indicam diferenças significativas entre os grupos ($p < 0,05$);

**OZE, óxido de zinco e eugenol.

4.3. RESISTÊNCIA À FRATURA

No teste de resistência à fratura, as amostras do grupo controle imersas em soro fisiológico apresentaram os melhores valores (873,8 N), seguidas das amostras de Pasta Experimental, que apresentaram uma média de 868,12 N. O valor mais baixo se apresentou no grupo de amostras testadas com Ultracal (721,37 N). Apesar disso, as amostras avaliadas em teste de resistência à fratura não apresentaram diferença estatística entre os grupos, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4: Média (desvio padrão) dos valores de resistência à fratura da dentina radicular após protocolos testados.

Grupo	Valores de resistência à fratura
Soro Fisiológico	873.80 (142.50) ^A
Ultracal	721.37 (128.14) ^A
OZE	742.84 (107.29) ^A
Feapex	743.43 (144.25) ^A
Pasta Experimental	868.12 (114.17) ^A

* Diferentes letras maiúsculas, na coluna, indicam diferenças significativas entre os grupos ($p < 0,05$);

**OZE, óxido de zinco e eugenol.

4.4. RESISTÊNCIA COESIVA

O grupo das amostras testadas com soro fisiológico apresentou os melhores valores no teste de resistência coesiva (55,17 N), seguidos consecutivamente do grupo testado com a Pasta Experimental (48,54 N) e do grupo testado com a pasta Feapex (45,83 N). As amostras que ficaram imersas nas pastas Ultracal e OZE apresentaram os valores mais baixos de resistência coesiva, mostrando diferença estatística significativa entre os grupos testados, conforme mostra na Tabela 5.

Tabela 5: Média (desvio padrão) dos valores de resistência coesiva da dentina radicular após protocolos testados.

Grupo	Valores de resistência coesiva
Soro Fisiológico	55.17 (8.62) ^A
Ultracal	33.51 (5.38) ^B
OZE	29.89 (6.60) ^B
Feapex	45.83 (3.36) ^A
Pasta Experimental	48.54 (4.49) ^A

* Diferentes letras maiúsculas, na coluna, indicam diferenças significativas entre os grupos ($p < 0,05$);

**OZE, óxido de zinco e eugenol.

5 DISCUSSÃO

Atualmente, não há evidência científica da superioridade de qualquer material obturador de canal radicular para o tratamento endodôntico de dentes decíduos necróticos, foi o que concluiu um estudo de meta-análise realizado por Pedrottii *et al.*, em 2023. Por isso, este estudo foi realizado, com o objetivo de trazer inovação e uma padronização no protocolo de endodontia de dentes decíduos, visto que ainda existe pouco progresso científico na etapa de obturação em pulpectomia da dentição primária (Imparato, 2013).

O presente estudo comparou o desempenho das propriedades mecânicas de dentina de dentes bovinos imersos em diversos materiais já comercializados e uma nova Pasta Experimental, que são utilizados de forma intracanal. Em termos de composição química, a dentina bovina, em vez de outra dentina animal, é o substituto mais adequado para a dentina humana em estudos laboratoriais (Teruel *et al.*, 2015). Um estudo recente que investigou a influência da terapia fotodinâmica antimicrobiana mediada por azul de metileno e da medicação hidróxido de cálcio nas características mecânicas em dentina do canal radicular e utilizou em sua amostragem 102 incisivos bovinos, o que reforça que dentes bovinos podem ser uma alternativa para estudos que

buscam investigar as propriedades mecânicas da dentina radicular (Strazzi-Sahyon *et al.*, 2024). Cochrane *et al* (2019) concluíram que desde que o protocolo delineado pelo estudo permita um ambiente controlado e padronizado para observar e comparar efeitos e diferenças, existe tendências semelhantes nos espécimes humanos e bovinos após a exposição aos medicamentos, portanto a metodologia do presente estudo está alinhada com a literatura atual.

Dentes tratados endodonticamente geralmente sofrem danos estruturais substanciais devido à patologia original e à natureza invasiva dos procedimentos endodônticos. Consequentemente, é mais suscetível a fraturas em comparação com os dentes vitais, necessitando de estratégias obturadoras e restauradoras para minimizar o risco de falha (Caussin *et al.*, 2024). Engelmann (2022) elucidou a formulação da Pasta Experimental, a fim promover um melhor desempenho no tratamento endodôntico de dentes decíduos, que seja biocompátível e com boas propriedades biológicas. O propósito da presente pesquisa foi somar ao estudo prévio de Engelman (2022), com a finalidade de comprovar que a Pasta Experimental e seus componentes não causam danos adicionais a estrutura remanescente do elemento dentário decíduo que passa por um tratamento de canal.

A clorexidina (CHX) tem sido amplamente utilizada em endodontia de dentes permanente há muito tempo, especialmente

por sua ação antimicrobiana, tendo essa substância uma característica peculiar, a substantividade, que promove atividade antimicrobiana residual a dentina. É um efetivo agente antimicrobiano contra patógenos endodônticos e biocompatível com os tecidos dentais (Ferraz *et al.*, 2001., Mohammadi & Abbott, 2009). Estudos relatam que a clorexidina tem um efeito de fortalecimento sobre a microdureza da dentina, quando testada com o irrigante intracanal (Fan *et al.*, 2019; Kulkarni *et al.*, 2021; Lobo *et al.*, 2022). Além disso, a clorexidina parece melhorar os valores de resistência flexural (Carrilho *et al.*, 2007; Moreira *et al.*, 2009; Marcelino *et al.*, 2014; Ribeiro *et al.*, 2017), resistência coesiva (Trindade *et al.*, 2018; Nassar *et al.*, 2020) e de resistência à fratura (Madhusudhana *et al.*, 2015; Aksel *et al.*, 2017; Rahimi *et al.*, 2022) em estudos que avaliam as propriedades mecânicas da dentina radicular após a exposição a esse irrigante.

Dentre os componentes da Pasta Experimental, o hidróxido de cálcio é um importante elemento, pois ele é um composto de várias pastas obturadoras já utilizadas em endodontia de dentes decíduos. Seus benefícios estão em sua atividade antimicrobiana devido à dissociação iônica dos íons cálcio e hidroxila, sua baixa toxicidade, seu pH, solubilidade, propriedades antibacterianas, antifúngicas e propriedades de biocompatibilidade (Desai e Chandler, 2009; Cassol *et al.*, 2019). Por outro lado, apresentam rápida reabsorção e baixa radiopacidade (Queiroz *et al.*, 2011). Por

esse motivo, a composição da Pasta Experimental associa o hidróxido de cálcio a outros elementos de estabilidade intracal, seja no aspecto biológico, quanto no comportamento mecânico. Alguns estudos demonstraram que o hidróxido de cálcio está associado com mudanças na força da dentina radicular em resposta aos materiais endodônticos (Kawamoto *et al.*, 2008; Batur *et al.*, 2013) diminuindo a capacidade da dentina radicular de suportar estresse. Gúzman *et al.* (2022) sugere que o hidróxido de cálcio esteja combinado a um antibiótico para obter melhor microdureza da dentina radicular, uma apresentação semelhante a Pasta Experimental. Sahebi *et al.* (2012), Grigoratos *et al.* (2001) concluíram em seus estudos que, em relação a resistência flexural, o hidróxido de cálcio parece não interferir nas propriedades mecânicas da dentina radicular. Zaeri *et al.* (2013) avaliaram o efeito do hidróxido de cálcio na resistência à fratura da dentina radicular e sugerem cautela quanto ao uso do hidróxido de cálcio intracanal, pois sua permanência em períodos muito longos pode afetar o comportamento mecânico da dentina. Outro estudo mais recente afirma que o uso de curativo de hidróxido de cálcio por até 12 semanas não tem efeito negativo na resistência à fratura das raízes humanas (Żuk-Grajewska *et al.*, 2021).

Atualmente, algumas pastas antibióticas vêm sendo pesquisadas em torno do mundo, com o objetivo auxiliar na endodontia de dentes decíduos (Zacharczuk *et al.*, 2019;

Chouchene, *et al.*, 2021). O Sulfato de Neomicina é um antibiótico de amplo espectro, que está presente na composição do Otosporin®, um medicamento indicado como curativo de demora em casos de endodontia de dentes permanentes (Ruiz *et al.*, 2002). A Pasta Experimental de Engelmann (2022), que possui em sua composição o Sulfato de Neomicina, não se mostrou citotóxica e apresentou boa ação antimicrobiana. Além dessas boas propriedades biológicas, um estudo de Pires e colaboradores (2016) concluiu que uma pasta de sulfato de neomicina associada a bacitracina apresentou bom desempenho de biocompatibilidade. Dentro das propriedades mecânicas, as pastas antibióticas podem apresentar menor degradação da microdureza, quando as amostras forem expostas aos agentes antimicrobianos com água como veículo (Guzman *et al.*, 2022). No estudo de Amonkar *et al.* (2021), a pasta antibiótica testada (Pasta Triplo Antibiótico) foi menos danosa a microdureza dentinária quando comparada com a exposição ao hidróxido de cálcio. No presente estudo, o resultado mostrou que não houve diferença estatística entre as amostras testadas com a pasta antibiótica e as pastas comercializadas (Ultracal, OZE e Feapex), nos testes mecânicos de microdureza, resistência flexural e resistência à fratura. Já no teste de resistência coesiva, as amostras testadas com a Pasta Experimental apresentaram uma carga de fratura maior do que Feapex, Ultracal,

e ZOE, ficando atrás somente do grupo controle de amostras testadas que ficaram imersas em soro fisiológico.

Uma pasta triantibiótica chama de 3Mix é um composto de minociclina, metronidazol e ciprofloxacina), misturada em propilenoglicol ou polietilenoglicol (macrogol), e é considerada a pasta a mais comumente usada no Tratamento Endodôntico Não Instrumentação (TENI). Recentemente, a técnica TENI foi incluída como opção de tratamento na diretriz atualizada sobre o uso de terapias não vitais em dentes decíduos da Academia Americana de Odontopediatria (Coll *et al.*, 2020), no entanto, sua recomendação ainda é limitada. Em países latinos, como Brasil, uma pasta antibiótica mista composta de cloranfenicol, tetraciclina, óxido de zinco e eugenol como veículo, chamada de pasta CTZ, vem sendo utilizada na TENI (Luengo-Ferreira *et al.*, 2019). Um estudo recente de Santos *et al* (2022) concluiu que o uso da pasta CTZ é uma opção viável de tratamento para molares decíduos não vitais. No entanto, apesar de ser biocompatível (Lima *et al.*, 2015), há poucos relatos de longo prazo sobre sua eficácia clínica (Lokade *et al.*, 2019), por isso estudos adicionais serão necessários para estabelecer com segurança os benefícios do seu uso.

Dentre as propriedades de um bom material obturador, a radiopacidade é um atributo essencial, pois é importante que os clínicos observem o preenchimento do canal radicular (Shah *et al.*, 1996), além de ser uma característica importante para que possa ser

diferenciado do osso adjacente e da dentina radicular em radiografias (Torabinejad *et al.*, 1995). No entanto, a adição de radiopacificador aos materiais de preenchimento radicular tende a afetar negativamente as propriedades físico-químicas desses materiais (Pepiol *et al.*, 2011). Um estudo de Chen e colaboradores (2018) desenvolveu três novos materiais obturadores radiculares radiopacos, adicionando sulfato de bário, trióxido de bismuto e dióxido de zircônio afim de comparar com um material obturador radiopaco sem qualquer adição e avaliou qual a melhor combinação frente as propriedades físico-químicas e biológicas, incluindo teste de resistência a fratura. Como conclusão, todos os materiais obtiveram radiopacidade, sendo a melhor visualizada naquele material obturador com adição de dióxido de zircônio. Já em relação a resistência à fratura, todos os materiais combinados apresentaram resistência significativamente maior do que aquele material sem adição de radiopacificador. Resultado este que indica que o uso de sulfato de bário pode não interferir nas propriedades mecânicas do material obturador (Chen *et al.*, 2018). Este achado condiz com o presente estudo, pois a utilização da Pasta Experimental testada além de apresentar uma boa radiopacidade (Engelmann, 2022), parece manter as propriedades mecânicas da dentina radicular de forma similar às amostras que foram testadas com pastas obturadoras utilizadas neste estudo, em teste de microdureza, resistência flexural e resistência a fratura, e mantendo

comportamento superior sob a dentina radicular em teste de resistência coesiva. O sulfato de bário é um importante componente da Pasta Experimental, no entanto não está presente na composição de Ultracal, pasta OZE e Feapex.

Um estudo de 2018, realizado por Pires e colaboradores mostrou que o uso de pasta de óxido de zinco e eugenol como preenchedor intracanal pode influenciar negativamente a resistência de união com dentina radicular, contraindicando o seu uso quando precisamos de adesão de materiais restauradores a dentes tratados endodonticamente. Além disso, Silva *et al.* (2010) explica que a pasta de óxido de zinco e eugenol tem potencial irritante para os tecidos periapicais e lenta taxa de reabsorção, prejudicando a esfoliação do elemento decíduo. Em nosso estudo, as amostras testadas com óxido de zinco e eugenol não apresentaram um bom comportamento mecânico em testes de resistência a fratura, resistência flexural, resistência coesiva e microdureza, quando comparadas as amostras testadas com outras pastas obturadoras, além de apresentarem dificuldade de remoção, devido ao endurecimento do material (Figura 18), após 21 dias de imersão. Neste caso, a Pasta Experimental testada apresenta-se como uma boa alternativa como material obturador, visto que em sua composição não consta óxido de zinco e eugenol.



Figura 18: Endurecimento da pasta de óxido de zinco e eugenol em amostra de teste de resistência coesiva, após 21 dias de imersão.

Além disso, a resistência a fratura de um dente decíduo em contato com pasta de óxido de zinco e eugenol pode diminuir, de acordo com o que mostrou um estudo que comparou o efeito do tratamento endodôntico na resistência à fratura de molares decíduos na capacidade de reforço de três materiais de núcleo diferentes: ionômero de vidro, amalgama de prata e cimento de óxido de zinco e eugenol. Nosso estudo realizou testes mecânicos utilizando máquina de ensaios universal do tipo EMIC. Diferentemente de Shah *et al* (2012), que realizaram testes de resistência a fratura em máquina Instron 95 e concluíram que, dentro dos materiais utilizados, o IRM apresentou maiores taxas de fratura, sendo contraindicado como uso de núcleo de dentes decíduos tratados endodonticamente. Sendo assim, esse estudo acaba reforçando ainda mais o desuso de pastas a base de óxido de zinco e eugenol como material intracanal.

As características e propriedades encontradas nas pastas obturadoras devem ser analisadas visto que, são fundamentais para que haja a confirmação de seus atributos desejáveis e critérios ideais, como: possuir propriedades antissépticas, ser facilmente inserida, ser radiopaca, não pigmentar o elemento dentário, e, não menos importante, manter a estabilidade das propriedades mecânicas (Cunha *et al.*, 2005; Lopes *et al.*, 2004; Thomaz *et al.*, 1994). De acordo com estudos prévios, parâmetros mecânicos como resistência flexural, resistência coesiva, resistência à fratura e microdureza da dentina avaliados em estudos laboratoriais auxiliam no desenvolvimento de novos materiais através da análise dos efeitos de agentes químicos no tecido duro saudável remanescente (Marending *et al.*, 2007; Cecchin *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2014). Com os resultados do presente estudo, pode-se observar bom comportamento mecânico da dentina radicular em contato com a Pasta Experimental, pois nos ensaios realizados, apresentou comportamento semelhante ou superior às demais pastas. Por isso, pode ser uma alternativa a materiais obturadores já existentes no mercado.

Além das boas propriedades biológicas observadas no estudo de Engelmann (2022), a Pasta Experimental manipulada neste estudo se manteve com suas características físicas estáveis após 297 dias, sem formação de grupos ou mudança de coloração, apenas com pequenas bolhas que desapareceram com leve

espatulação (Figura 19). Já, nos resultados do presente estudo, a Pasta Experimental apresentou um bom comportamento nos testes realizados. Em testes de microdureza, resistência a fratura e resistência flexural, as amostras testadas com a Pasta Experimental apresentaram comportamento mecânico semelhante as amostras testadas com pastas de obturação já comercializadas. No teste de resistência coesiva, o grupo de amostras com a Pasta Experimental apresentou a maior média do valor de fratura, comparado aos outros grupos de amostras. Portanto, esta pasta antibiótica parece manter similaridade das propriedades físico-mecânicas da dentina radicular remanescente com as pastas que são mais utilizadas atualmente em endodontia de dentes decíduos.



Figura 19: Pasta Experimental com características físicas estáveis após 297 dias de manipulação.

Apesar das semelhanças estatísticas encontradas em testes de microdureza, resistência flexural e resistência a fratura, o uso da Pasta Experimental não influenciou na resistência coesiva da dentina radicular. Esse estudo foi uma foi um complemento ao estudo de Engelmann (2022), que encontrou boas propriedades biológicas da nova proposta de pasta obturadora de dentes

decíduos. Por fim, a principal razão dessa linha de estudo está na necessidade de estabelecer um protocolo padrão na terapia endodôntica de dentes decíduos, incluindo na etapa de obturação uma pasta que atenda aos critérios de um material ideal para essa aplicação.

Este estudo apresenta uma grande relevância clínica pois busca uma nova alternativa para obturação de canais radiculares de dentes decíduos, principalmente pensando na otimização do processo, uma vez que a proposta da Pasta Experimental é que ela seja disponibilizada pronta para uso. Mais estudos são necessários para que a Pasta Experimental possa ser utilizada em humanos.

6 CONCLUSÃO

Diante das limitações do presente estudo, pode-se concluir que as amostras testadas com a Pasta Experimental F5 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, CHX, BaSO_4 e Sulfato de Neomicina) obtiveram bom comportamento mecânico nos testes realizados. Entre os grupos testados, não houve diferença estatística nos testes de microdureza, resistência flexural e resistência à fratura. Além disso, a Pasta Experimental parece não influenciar a resistência coesiva da dentina radicular.

No entanto, é necessário que mais estudos sejam realizados para avaliar outras propriedades importantes no desenvolvimento de uma nova formulação, pois, previamente ao uso de novas pastas obturadoras nos canais radiculares de seres humanos, uma série de estudos laboratoriais devem ser realizados para determinar os seus benefícios e consequências, bem como estudos *in vivo* desta nova Pastas Experimental.

REFERÊNCIAS

AKSEL, H.; ASKERBEYLI-ÖRS, S.; DENİZ-SUNGUR, D. Vertical root fracture resistance of simulated immature permanent teeth filled with MTA using different vehicles. *J Clin Exp Dent*, v. 9, n. 2, p. e178-e181, 2017.

AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRIC DENTISTRY. Guideline on restorative dentistry. *Pediatr. Dent.*, v. 38, n. 5, p. 107-119, 2016.

AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRIC DENTISTRY. Guideline on pulp therapy for primary and young permanent teeth. *Pediatr Dent*, v. 40, n. 6, p. 343-351, 2018/2019.

AMONKAR, A.D.; DHADED, N.S.; DODDWAD, P.K.; PATIL, A.C.; HUGAR, S.M.; BHANDI, S.; RAJ, A.T.; PATIL, S.; ZANZA, A.; TESTARELLI, L. Evaluation of the Effect of Long-term Use of Three Intracanal Medicaments on the Radicular Dentin Microhardness and Fracture Resistance: An *in vitro* study. *Acta Stomatol Croat*, v. 55. n. 3, p 291-301, 2021.

ANDREASEN, J.O.; FARIK, B.; MUNKSGAARD, E.C. Hidróxido de cálcio a longo prazo como curativo do canal radicular pode aumentar o risco de fratura radicular. *Dent Traumatol*, v. 18, n. 3, p. 134-137, 2002.

ANUSAVICE, J. Materiais Dentários, 11a Ed; *Elsevier LTDA*, 736p, 2005.

ARSLAN, S.; ZORBA, Y.O.; ATALAY, M.A.; ÖZCAN, S.; DEMIRBUGA, S.; PALA, K. *et al.* Effect of resin infiltration on enamel surface properties and *Streptococcus mutans* adhesion to artificial enamel lesions. *Dent Mater J*, v. 34, p.25–30, 2015.

ASSED, S.; FREITAS, A.C.; SILVA, L.A.B.; NELSON-FILHO, P. Tratamiento endodóntico en dientes temporales. In: Leonardo MR (Org.). Endodoncia: tratamiento de conducto radiculares – principios técnicos y biológicos. *São Paulo*., *Artes Médicas*. 1ed, v.1, p. 151-208, 2005.

AYLARD, S.R.; JOHNSON, R. Assessment of filling techniques for primary teeth. *Pediatr Dent*, v. 9, n. 3, p. 195-198, 1987.

BATUR, Y.B.; ERDEMIR, U.; SANCAKLI, H.S. The long-term effect of calcium hydroxide application on dentin fracture strength of endodontically treated teeth. *Dent Traumatol*, v. 29, n. 6, p. 461-464, 2013.

BHAT, S.S.; HEGDE, S.K.; RAO, A.; SHAJI MOHAMMED, A.K. Evaluation of resistance of teeth subjected to fracture after endodontic treatment using different root canal sealers: an *in vitro* study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, v. 30, n. 4, p. 305-309, 2012.

BIVEN, G.M.; BAPNA, M.S.; HEUER, M.A. Effect of eugenol and eugenol-containing root canal sealers on the microhardness of human dentin. *J Dent Res*, v. 51, p. 1602-1609, 1972.

BRABANT, H. Comparison of the characteristics and anomalies of the deciduous and permanent dentition. *J Dent Res*, v. 46, p. 897-902, 1967.

BRONZATO, J.D.; CECCHIN, D.; MIYAGAKI, D.C.; DE ALMEIDA, J.F.; FERRAZ, C.C. Effect of cleaning methods on bond strength of self-etching adhesive to dentin. *J Conserv Dent*, v. 19, n. 1, p. 26-30, 2016.

CAMARGO, M. A.; SILVEIRA, B. L.; DELFINO, C. S.; ZARONI, W. C. S.; MATOS, A. B. Ensaio de microtração: uma revisão crítica da literatura. *Rev Inst Ciênc Saúde*, v. 25, n. 3, p. 313-318, 2007.

CAMILLERI J. Evaluation of the physical properties of an endodontic Portland cement incorporating alternative radiopacifiers used as root-end filling material. *Int Endod J*, v. 43, n. 3, p. 231-40, 2010.

CARRILHO, M. R. O. R. M.; CARVALHO, M. F. DE GOES *et al.* Chlorhexidine preserves dentin bond *in vitro*. *Journal of Dental Research*, v. 86, n. 1, p. 90–94, 2007.

CASSOL, D.V.; DUARTE, M.L.; PINTOR, A.B.V.; BARCELOS, R.; PRIMO, L.G. Iodoform vs calcium hydroxide/zinc oxide based pastes: 12-month findings of a randomized controlled trial. *Braz. Oral Res*, v.33, e.002, 2019.

CAUSSIN, E.; IZART, M.; CEINOS, R.; ATTAL, J. P.; BERES, F.; FRANÇOIS, P. Advanced material strategy for restoring damaged endodontically treated teeth: a comprehensive review. *Mater. (Basel)*, v. 17, n. 15, p. 3736, 2024.

CECCHIN, D.; FARINA, A. P.; SOUZA, M. A.; ALBARELLO, L. L.; SCHNEIDER, A. P.; VIDAL, C. M. P. *et al.* Evaluation of antimicrobial effectiveness and dentine mechanical properties after use of chemical and natural auxiliary irrigants. *J. Dent*, v.43, n. 6, 2015.

CECCHIN, D.; GIARETTA, V. S.; CADORIN, B. G.; SOUZA, M. A.; VIDAL, C. M. P.; FARINA, A. P. Effect of synthetic and natural-derived novel endodontic irrigant solutions on mechanical properties of human dentin. *J Mater Sci Mater Med*, v.28, n.9, 2017.

CHEN, Y. Z.; LÜ, X. Y.; LIU, G. D. Effects of different radio-opacifying agents on physicochemical and biological properties of a novel root-end filling material. *PLoS One*, v. 13, n. 2, e0191123, 2018.

CHOUCHENE, F.; MASMOUDI, F.; BAAZIZ, A.; MAATOUK, F.; GHEDIRA, H. Antibiotic mixtures in noninstrumental endodontic treatment of primary teeth with necrotic pulps: a systematic review. *Int. J. Dent.*, v. 2021, 2021.

CHOUDHARY, M.; SHARMA, A.; AGARWAL, P.; SINGH, T.; PATNAIK, T.; PATNAIK, A. Experimental and numerical investigation of mechanical and erosion behavior of barium sulphate filled glass fiber reinforced polymer composites. *Polymer Composites*, v. 42, n. 2, p. 753-773, 2021.

COCHRANE, S.; BURROW, M.F.; PARASHOS, P. Effect on the mechanical properties of human and bovine dentine of intracanal medicaments and irrigants. *Aust Dent J*, v. 64, n. 1, p. 35-42, 2019.

COLL, J. A.; VARGAS, K.; MARGHALANI, A. A.; CHEN, C. Y.; ALSHAMALI, S.; DHAR, V.; CRYSTAL, Y. O. A systematic review and meta-analysis of nonvital pulp therapy for primary teeth. *Pediatr. Dent.*, v. 42, n. 4, p. 256-461, 2020.

COLLARES, F.M.; OGLIARI, F.A.; LIMA, G.S.; FONTANELLA, V.R.; PIVA, E.; SAMUEL, S.M. Ytterbium trifluoride as a radiopaque agent for dental cements. *Int Endod J*, v. 43, n. 9, p. 792-797, 2010.

CORREA, M.S.N.P. Odontopediatria na primeira infância. São Paulo: APGIQ, p. 923, 2010.

COSTA, B. C. *et al.* Análise físico-química do MTA e do cimento Portland associado a quatro diferentes radiopacificadores. *Revista de Odontologia da UNESP*, v. 43, n. 4, p. 228-235, 2014.

CRUZ FILHO, A.M.; SOUSA NETO, M.D.; SAVIOLI, R.N.; SILVA, R.G.; VANSAN, L.P.; PÉCORA, J.D. Effect of chelating solutions on the microhardness of root canal lumen dentin. *Journal of Endodontics*, v. 37, n. 3, p. 358-362, 2011.

CUNHA, C. B. C. S.; BARCELOS, R.; PRIMO, L. G. Soluções irrigadoras e materiais obturadores utilizados na terapia endodôntica de dentes decíduos. *Pesq. Bras. Odontopediatr. Clín. Integrada*, v. 5, n. 1, p. 75-83, 2005.

DANESWARI, M.; REDDY, N.V.; CHRIS, P.A.; REDDY, V.N.; KONDAMADUGU, S.; NIHARIKA, P. A Comparative Evaluation of Microhardness and Chemical Structure of Radicular Dentin with Two Combinations of TAP and MTAP: An In Vitro Study. *Int J Clin Pediatr Dent*, v. 15, p. S151-S157, 2022.

DAS, A.; KOTTOOR, J.; MATHEW, J.; KUMAR, S.; GEORGE, S. Dentine microhardness changes following conventional and alternate irrigation regimens: An *in vitro* study. *J Conserv Dent*, v. 17, n. 6, p. 546-549, 2014.

DE JAGER, N.; MÜNKER, T.J.A.G.; GUILARDI, L.F.; JANSEN, V.J.; SPORTEL, Y.G.E.; KLEVERLAAN, C.J. The relation between impact strength and flexural strength of dental materials. *J Mech Behav Biomed Mater*, v. 122, 2021.

DESAI, S.; CHANDLER, N. Calcium hydroxide-based root canal sealers: a review. *J. Endod.*, v. 35, n. 4, p. 475-80, abr. 2009.

DURIGON, M.; CECCHIN, D.; DE CARLI, J.P.; SOUZA, M.A.; FARINA, A.P. Could calcium hypochlorite and grape seed extract keep the mechanical properties of root dentin and fracture resistance of weakened roots? *J Mech Behav Biomed Mater*, v. 106, 2020

ENGELMANN, J. L. Avaliação das propriedades de uma nova pasta para obturação de canais radiculares de dentes decíduos. Tese (Doutorado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, Universidade de Passo Fundo. 241p. 2022.

ESTRELA, C.; ESTRELA, C.R.A.; GUIMARÃES, L.F.; SILVA, R.S.; PÉCOR, J.D. Surface tension of calcium hydroxide associated with different substances. *J Appl Oral Sci*, v. 13, n. 2, p. 152-156, 2005.

FAN, W.; LI, Y.; LIU, D.; SUN, Q.; DUAN, M.; FAN, B. PLGA submicron particles containing chlorhexidine, calcium and phosphorus inhibit *Enterococcus faecalis* infection and improve the microhardness of dentin. *J Mater Sci Mater Med*, v. 30, n. 2, 2019.

FERRAZ C.C.; GOMES B.P.; ZAIA A.A.; TEIXEIRA F.B.; SOUZA-FILHO, F.J. In vitro assessment of the antimicrobial action and the mechanical ability of chlorhexidine gel as an endodontic irrigant. *J Endod*, v. 27, p. 452-5, 2001.

FRANKENBERGER, R.; NASSIRI, S.; LÜCKER, S.; LYGIDAKIS, N.N.; KRÄMER, N. The effect of different liners on the bond strength of a compomer to primary teeth dentine: *in vitro* study. *Eur Arch Paediatr Dent*, v. 22, n. 4, p. 643-649, 2021.

FUKS, A. B. Vital Pulp Therapy With New Materials For Primary Teeth: New Directions And Treatment Perspectives. *Journal Of Endodontics*, v.34, n.7, p.18-24, 2008.

GHANBARZADEH, M.; AHRARI, F.; AKBARI, M.; HAMZEI, H. Microhardness de esmalte desmineralizado após branqueamento doméstico e laser assistido em branqueamento de escritório. *J Clin Exp Dent*, 2015 Jul v. 7, n. 3, p. 405-409, 2015.

GRIGORATOS, D.; KNOWLES, J.; NG, Y.L.; GULABIVALA, K. Effect of exposing dentine to sodium hypochlorite and calcium hydroxide on its flexural strength and elastic modulus. *Int Endod J*, v. 34, n. 2, p. 113-119, 2001.

GU, X.Y.; HU, X.G.; PENG, D.; WANG, X.Z. Research of changes in the mechanical properties and curability of composite core materials modified with ultrafine diamond. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*, v. 25, n. 6, p. 525-528, 2007.

GUEDES-PINTO, A.C.; SANTOS, E.M. Tratamento endodôntico em Dentes Decíduos. In: Guedes-Pinto, A.C. Odontopediatria. 8ed. São Paulo: Editora Santos, p. 589-612, 2010.

GÚZMAN, S.; CACCIA, M.; CORTÉS, O.; BOLARIN, J.M.; REQUENA, A.; GARCIA-GODOY, A.; GARCIA-GODOY, F.; BOJ, J.R. Human root dentin microhardness and degradation by triple antibiotic paste and calcium hydroxide. *Am J Dent*, v. 35, n. 2, p. 205-211, 2022.

HAKAMI, Z.; ALSHEHRI, A.H. Antimicrobial efficacy, optical properties and flexural strength following antimicrobial photodynamic therapy over vacuum-formed orthodontic retainers. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, v. 39, n. 8, 2022.

HAMDY, T. M. Evaluation of compressive strength, microhardness and solubility of zinc-oxide eugenol cement reinforced with E-glass fibers. *BMC Oral Health*, v. 24, n. 1, p. 487, 2024.

HAWKINS, J.J.; TORABINEJAD, M.; LI, Y.; RETAMOZO, B. Effect of three calcium hydroxide formulations on fracture resistance of dentin over time. *Dent Traumatol*, v. 31, n. 5, p. 380-384, 2015.

IMAI, Y.; KOMABAYASHI, T. Properties of a new injectable type of root canal filling resin with adhesiveness to dentin. *J Endod*, v. 29, n. 1, p. 20-23, 2003.

IMPARATO, J.C. Anuário de Odontopediatria Clínica. São Paulo: Napoleão. 1ed. 196p., 2013.

JOINER, A. Review of the effects of peroxide on enamel and dentine properties. *J Dent*, v. 35, n. 12, p. 889-896, 2007.

JUN, S.K.; KIM, H.W.; LEE, H.H.; LEE, J.H. Zirconia-incorporated zinc oxide eugenol has improved mechanical properties and cytocompatibility with human dental pulp stem cells. *Dent Mater.* v. 34, n, 1, p. 132-142, 2018.

JUNG-WEI, C.; MONSERRAT, J. Materials for primary tooth Pulp treatment: the present and the future. *Endodontic Topics*, v.23, p. 41-49, 2012.

KAKADE, A.; SHETTY, H.; SANTOSH, A.; MALI, S.; BADNAWARE, S.; DESHMUKH, B.; BANTHIYA, K. Tamponade effect of resorbable biological barrier in quality of obturation in primary molar. *J Investig Clin Dent*, v. 10, n. 4, 2019.

KANG, J.S.; RHIM, E.M.; HUH, S.Y.; AHN, S.J.; KIM, D.S.; KIM, S.Y.; PARK, S.H. The effects of humidity and serum on the surface microhardness and morphology of five retrograde filling materials. *Scanning*, 2012 v. 34, n. 4, p. 207-214.

KAPRALOS, V.; RUKKE, H.V.; ØRSTAVIK, D.; KOUTROULIS, A.; CAMILLERI, J.; SUNDE, P.T. Antimicrobial and physicochemical characterization of endodontic sealers after exposure to chlorhexidine digluconate. *Dent Mater*, v. 37, n. 2, p. 249-263, 2021.

KAWAMOTO, R.; KUROKAWA, H.; TAKUBO, C.; SHIMAMURA, Y.; YOSHIDA, T.; MIYAZAKI, M. Change in elastic modulus of bovine dentine with exposure to a calcium hydroxide paste. *J Dent*, v. 36, n. 11, p. 959-964, 2008.

KAZANDAG, K.M.; BASRANI, B.; YAMAGISHI, V.T.K.; AZARPAZHOOH, A.; FRIEDMAN, S. Fracture resistance of simulated immature tooth roots reinforced with MTA or restorative materials. *Dent Traumatol*, v. 32, n. 2, p. 146-152, 2016.

KOCH, T.; PEUTZFELDT, A.; MALINOVSKII, V.; FLURY, S.; HÄNER, R.; LUSSI, A. Temporary zinc oxide-eugenol cement: eugenol quantity in dentin and bond strength of resin composite. *Eur J Oral Sci*, v. 121, n. 4, p. 363-369, 2013.

KORKMAZ, F.M.; TÜZÜNER, T.; BAYGIN, O.; BURUK, C.K.; DURKAN, R.; BAGIS, B. Antibacterial activity, surface roughness, flexural strength, and solubility of conventional luting cements containing chlorhexidine diacetate/cetrimide mixtures. *J Prosthet Dent*, v. 110, n. 2, p. 107-115, 2013.

KUBOTA, K.; GOLDEN, B.E.; PENUGONDA, B. Root canal filling materials for primary teeth: a review of the literature. *ASDC J Dent Child*, v.59, n.3, p.225-7, 1992.

KULKARNI, S.; MUSTAFA, M.; GHATOLE, K.; ALQAHTANI, A.R.; ASIRI, F.Y.; ALGHOMLAS, Z.I.; ALOTHMAN, T.A.; ALHAJRI, F.F. Evaluation of 2% Chlorhexidine and 2% Sodium Fluoride as Endodontic Irrigating Solutions on Root Dentine Microhardness: An *In vitro* Study. *Eur J Dent*, v. 15, n. 2, p. 253-258, 2021.

LAWSON, N.C.; BURGESS, J.O.; MERCANTE, D. Crown retention and flexural strength of eight provisional cements. *J Prosthet Dent*, v. 98, n. 6, p. 455-460, 2007.

LEMON, D. J.; CHEN, W.; SMITH, T.; FORD, A. A.; MOFFETT, S. X.; HOYLE, J. T.; HAMLIN, N. J.; HWANG, Y. Y. The effect of simulated field storage conditions on dental restorative materials for military field use. *Mil. Med.*, v. 185, n. 5-6, p. e831-e838, 2020.

LEONARDO, M.R.; TANOMARU FILHO, M.; SILVA, L.A.; NELSON FILHO, P.; BONIFÁCIO, K.C.; ITO, I.Y. In vivo antimicrobial activity of 2% chlorhexidine used as a root canal irrigating solution. *J Endod*, v. 25, n. 3, p. 167–171, 1999.

LIMA, C. C. B.; CONDE JÚNIOR, A. M.; RIZZO, M. S.; MOURA, R. D.; MOURA, M. S.; LIMA, M. D. M.; MOURA, L. F. A. D. Biocompatibility of root filling pastes used in primary teeth. *Int. Endod. J.*, v. 48, n. 5, p. 405-416, 2015.

LIMA, J.F.M.; WAJNGARTEN, D.; ISLAM, F.; CLIFFORD, J.; BOTTA, A.C. Effect of adhesive mode and chlorhexidine on microtensile strength of universal bonding agent to sound and caries-affected dentins. *Eur J Dent*, v. 12, n. 4, p. 553-558, 2018.

LOBO, R. C.; MORA, R. T.; MURILLO-GÓMEZ F, MARIA GUERREIRO-TANOMARU J, TANOMARU-FILHO

M, REYES-CARMONA J. Final irrigation protocols affect radicular dentin DMP1-CT expression, microhardness, and biochemical composition. *Clin Oral Investig*, v. 26, n. 8, p. 5491-5501, 2022.

LOKADE, A.; THAKUR, S.; SINGHAL, P.; CHAOHAN, D.; JAYAM, C. Comparative evaluation of clinical and radiographic success of three different lesion sterilization and tissue repair techniques as treatment options in primary molars requiring pulpectomy: an in vivo study. *J. Indian Soc. Pedod. Prev. Dent.*, v. 37, n. 2, p. 185, 2019.

LOPES, H.P.; SIQUEIRA, J.F. Endodontia: Biologia e Técnica. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Ed. Medsi-Guanabara Koogan S. A., p. 964, 2004.

LOPES, M. L.; PAVAN, R. G.; OLIVEIRA, S.C.; DOS SANTOS, N.M. Radiotherapy Reduces Microhardness and Mineral and Organic Composition, and Changes the Morphology of Primary Teeth: An *in vitro* Study. *Caries Res*, v. 53, n. 3, p. 296-304, 2019.

LOUREIRO, M. A. Z.; BARBOSA, M. G.; CHAVES, S. G.;
Et al. Pesquisa Avaliação da composição química e radiopacidade
de diferentes pastas de hidróxido de cálcio. *Rev Odontol Bras*
Central, v.27, n.80, p.19-23, 2018.

LUENGO-FEREIRA, J.; AYALA-JIMÉNEZ, S.;
CARLOS-MEDRANO, L. E.; TOSCANO-GARCÍA, I.; ANAYA-
ÁLVAREZ, M. Clinical and radiographic evaluation of
formocresol and chloramphenicol, tetracycline and zinc oxide-
eugenol antibiotic paste in primary teeth pulpotomies: 24 month
follow up. *J. Clin. Pediatr. Dent.*, v. 43, n. 1, p. 16-21, 2019.

MADHUKUMAR, M.; GEETHA, P.; NAIR, K.R.;
UNNIKRISHNAN, M. The Effects of Double Antibiotic Paste and
Amoxicillin-clavulanate Paste Used in Endodontic Regeneration
on Microhardness of Radicular Dentine: An In vitro Study. *J*
Pharm Bioallied Sci, v. 13, p. S510-S515, 2021.

MADHUSUDHANA, K.; ARCHANAGUPTA, K.;
SUNEELKUMAR, C.; LAVANYA, A.; DEEPTHI, M. Effect of
addition of lycopene to calcium hydroxide and chlorhexidine as
intracanal medicament on fracture resistance of radicular dentin at
two different time intervals: An *in vitro* study. *J Conserv Dent*, v.
18, n. 3, p. 205-9, 2015.

MAKITA, M.; YAMAKADO, K.; NAKATSUKA, A. *et al.* Effects of barium concentration on the radiopacity and biomechanics of bone cement: experimental study. *Radiat Med*, v. 26, p. 533–538, 2008.

MARCELINO, A.P.; BRUNIERA, J.F.; RACHED-JUNIOR, F.A.; SILVA, S.R.; MESSIAS, D.C. Impact of chemical agents for surface treatments on microhardness and flexural strength of root dentin. *Braz Oral Res*, v. 28, p.1806-832, 2014.

MASS, E.; ZILBERMAN, U. L. Endodontic treatment of infected primary teeth, using Maisto's paste. *ASDC journal of dentistry for children*, v. 56, n. 2, p. 117-120, 1989.

MARAVIĆ, T.; COMBA, A. CUNHA, S.R.; ANGELONI, V.; CADENARO, M.; VISINITINI, E.; NAVARRA, C.O.; SALGARELLO, S.; BRESCHI, L.; MAZZONI, A. Long-term bond strength and endogenous enzymatic activity of a chlorhexidine-containing commercially available adhesive. *J Dent*, v. 84, p. 60-66, 2019.

MARENDING, M.; LUDER, H.U.; BRUNNER, T.J.; KNECHT, S.; STARK, W.J.; ZEHNDER, M. Effect of sodium hypochlorite on human root dentine: mechanical, chemical and structural evaluation. *Int Endod J*, v. 40, p. 786–9, 2007.

MOAZAMI, F.; SAHEBI, S.; JAMSHIDI, D.; ALAVI, A. The long-term effect of calcium hydroxide, calcium-enriched mixture cement and mineral trioxide aggregate on dentin strength. *Iran Endod J*, v. 9, n. 3, p. 185-9, 2014.

MOHAMMADI, Z.; ABBOTT, P.V. The properties and applications of chlorhexidine in endodontics. *Int Endod J*, v. 42, p. 288–302, 2009.

MOREIRA D. M.; ALMEIDA, J. F. A.; FERRAZ, C. C. R.; GOMES, A. B. P. F.; LINE, S. R. P.; ZAIA, A. A. Structural analysis of bovine root dentin after use of different endodontics auxiliary chemical substances. *Journal of Endodontics*, v. 35, n. 7, p. 1023–1027, 2009.

MORTAZAVI M.; MESBAHI M. Comparison of zinc oxide and eugenol, and Vitapex for root canal treatment of necrotic primary teeth. *Int J Paediatr Dent*, v.14, n.6, p. 417-424, 2004.

NADELMAN, P.; BEDRAN, N.; MAGNO, M. B.; MASTERSON, D.; DE CASTRO, A. C. R.; MAIA, L. C. Premature loss of primary anterior teeth and its consequences to primary dental arch and speech pattern: a systematic review and meta-analysis. *Int. J. Paediatr. Dent.*, v. 30, n. 6, p. 687-712, 2020

NASCIMENTO, C.A.; TANOMARU-FILHO, M.; BOSSO, R.; KUGA, M.C.; TANOMARU, J.M.G. Capacidade de termoplastificação da guta-percha com diferentes conicidades. *Revista de Odontologia da UNESP*, v. 39, n. 6, p. 351-354, 2010.

NASERI, M.; EFTEKHAR, L.; GHOLAMI, F.; ATAI, M.; DIANAT, O. The Effect of Calcium Hydroxide and Nano-calcium Hydroxide on Microhardness and Superficial Chemical Structure of Root Canal Dentin: An Ex Vivo Study. *J Endod*, v. 45, n. 9, p. 1148-1154, 2019.

NASSAR, T.H.; ARCÍS, B. C.; GALLARDO, P.V.; SANZ, G.V.; MOSCARDÓ, P.A.; SILLA, A.J.M.; COMPANY, M.J.M. Effect of 2% Chlorhexidine Following Acid Etching on Microtensile Bond Strength of Resin Restorations: A Meta-Analysis. *Medicina (Kaunas)*, v. 55, n. 12 p. 769, 2019.

NATALE, L.C.; RODRIGUES, M.C.; XAVIER, T.A.; SIMÕES, A.; DE SOUZA, D.N.; BRAGA, R.R. Ion release and mechanical properties of calcium silicate and calcium hydroxide materials used for pulp capping. *Int Endod J*, v. 48, n. 1, p. 89-94, 2015.

NAEEM, M. M.; SARWAR, H.; NISAR, A.; AHMED, S.; SHABBIR, J.; KHURSHID, Z.; PALMA, P. J. Effect of propolis on root dentine microhardness when used as an intracanal medicament: an in vitro study. *J. Funct. Biomater.*, v. 14, n. 3, p. 144, 2023.

NELSON-FILHO, P.; SEGATO, R.A.B.; QUEIROZ, A.M.; DE ROSSI, A.; CARVALHO, F.K.; SILVA, L.A.B. Tratamento endodôntico conservador e radical em dentes decíduos: qual a conduta? In: Duarte D, Feres M, Fontana UF. Odontopediatria – estado atual da arte: educação, diagnóstico e intervenção estético-funcional. *São Paulo: Napoleão*, p. 246-265, 2018.

NETO, J.C.L. Resistência a fratura de dentes com rizogênese incompleta simulada após o uso de medicações intracanaís utilizadas na revitalização pulpar. Dissertação (Mestrado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, Universidade Federal da Paraíba. Paraíba. 45p. 2017.

NIRANJAN, N. T.; DASTIDAR, P. G.; PENUKONDA, R.; LIN, G. S. S.; BABANNAVAR, R.; JAYSHEEL, A.; PATTAR, H. Impact of calcium hydroxide and 2-hydroxyisocaproic acid on the microhardness of root dentine: an in vitro study. *Odontology*, v. 112, n. 3, p. 711-717, 2024

ORILISI, G.; MONTERUBBIANESI, R.; NOTARSTEFANO, V.; TOSCO, V.; VITIELLO, F.; GIULIANI, G.; PUTIGNANO, A.; ORSINI, G. New insights from Raman MicroSpectroscopy and Scanning Electron Microscopy on the microstructure and chemical composition of vestibular and lingual surfaces in permanent and deciduous human teeth. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, v. 260, 2021.

PARASHAR, V.; KHAN, S.A.; SINGH, P.; SHARMA, S.; KUMAR, A.; KUMAR, A. Effect of Intracanal Medicaments (Modified Triple Antibiotic Paste, Calcium Hydroxide, and Aloe Vera) on Microhardness of Root Dentine: An *In vitro* Study. *J Contemp Dent Pract*, v. 21, n. 6, p. 632-635, 2020.

PASHLEY, D.H.; SANO, H.; CIUCCHI, B.; YOSHIYAMA, M.; CARVALHO, R.M. Adhesion testing of dentin bonding agents: a review. *Dent Mater*, v. 11, n. 2, p. 117-25, 1995.

PATIL, C.R.; UPPIN, V. Effect of endodontic irrigating solutions on the microhardness and roughness of root canal dentin: an *in vitro* study. *Indian J Dent Res*, v. 22, n. 1, p. 22-7, 2011.

PEDREIRA, P.R.; DAMASCENO, J.E.; MATHIAS, C.; SINHORETI, M.; AGUIAR, F.; MARCHI, G.M. Influence of Incorporating Zirconium- and Barium-based Radiopaque Filler Into Experimental and Commercial Infiltrants. *Oper Dent*, v. 46, n. 5, p. 566-576, 2021.

PEDROTTI, D.; BOTTEZINI, P. A.; CASAGRANDE, L.; BRAGA, M. M.; LENZI, T. L. Root canal filling materials for endodontic treatment of necrotic primary teeth: a network meta-analysis. *Eur. Arch. Paediatr. Dent.*, v. 24, n. 2, p. 151-166, 2023.

PEPIOL, A.; TEIXIDOR, F.; SARALIDZE, K.; VAN DER MAREL, C.; WILLEMS, P.; VOSS, L. A highly radiopaque vertebroplasty cement using tetraiodinated o-carborane additive. *Biomaterials*, v. 32, p. 6389-6398, 2011.

PEUTZFELDT, A.; ASMUSSEN, E. Influence of eugenol-containing temporary cement on efficacy of dentin-bonding systems. *Eur J Oral Sci.* v. 107, n. 1, p. 65-9, 1999.

PHAM, C.L.; KRATUNOVA, E.; MARION, I.; DA FONSECA, M.A.; ALAPATI, S.B. Effect of Overlying Material on Final Setting of Biodentine ® in Primary Molar Pulpotomies. *Pediatr Dent*, v. 41, n. 2, p. 140-145, 2019.

PHUKAN, A.H.; MATHUR, S.; SANDHU, M.; SACHDEV, V. The effect of different root canal sealers on the fracture resistance of endodontically treated teeth-*in vitro* study. *Dent Res J (Isfahan)*, v. 14, n. 6, p. 382-388, 2017.

PINHEIRO, S.L.; SILVA, C.C.D.; SILVA, L.A.D.; CICOTTI, M.P.; BUENO, C.E.D.S.; FONTANA, C.E.; PAGRION, L.R.; DALMORA, N.P.; DAQUE, T.T.; CAMPOS, F.U. Antimicrobial efficacy of 2.5% sodium hypochlorite, 2% chlorhexidine, and ozonated water as irrigants in mesiobuccal root canals with severe curvature of mandibular molars. *Eur J Dent*, v. 12, n. 1, p. 94-99, 2018.

PINTO, D.N.; DE SOUSA, D.L.; ROCHA, R.B.A.; MOREIRA-NETO, J.J.S. Eighteen-month clinical and radiographic evaluation of two root canal-filling materials in primary teeth with pulp necrosis secondary to trauma. *Dental Traumatology*, v.27, p. 221-224, 2011.

PIRES, C. W.; BOTTON, G.; CADONÁ, F. C.; MACHADO, A. K.; AZZOLIN, V. F.; DA CRUZ, I. B.; SAGRILLO, M. R.; PRAETZEL, J. R. Induction of cytotoxicity, oxidative stress and genotoxicity by root filling pastes used in primary teeth. *Int. Endod. J.*, v. 49, n. 8, p. 737-45, ago. 2016.

PIRES, C. W.; LENZI, T. L.; SOARES, F. Z. M.; ROCHA, R. O. Zinc oxide eugenol paste jeopardises the adhesive bonding to primary dentine. *Eur. Arch. Paediatr. Dent.*, v. 19, n. 3, p. 163-169, jun. 2018.

PRATHER, B.T.; EHRLICH, Y.; SPOLNIK, K.; PLATT, J.A.; YASSEN, G.H. Effects of two combinations of triple antibiotic paste used in endodontic regeneration on root microhardness and chemical structure of radicular dentine. *J Oral Sci*, v. 56, n. 4, p. 245-51, 2014.

QUEIROZ, A.M.; ASSED, S.; CONSOLARO, A.; NELSON-FILHO,P.; LEONARDO, M.R.; SILVA, R.A.; SILVA, R.A.B.; SILVA, L.A.B. ubcutaneous connective tissue response to primary root canal filling materials. *Braz Dent J*. v.22, n.3, p.203-11, 2011.

RAHIMI, S.; GHASEMI, N.; JABBARI, G.; ZAHERI, Z.; TORABI, Z.S.; DAREHCHI N.R. Effect of different intracanal medicaments on the fracture resistance of the human root. *Dent Res J (Isfahan)*, v. 19, n. 9, 2022.

RIBEIRO, F.C.; SOUZA, A.E.G.; MARCHESAN, M.A.; ALFREDO, E.; SOUSA, Y.T.S.; NETO, M.D.S. Influence of different endodontic filling materials on root fracture susceptibility. *J Dent*, v. 36, n. 1, p. 69-7, 2008.

RIBEIRO, M.R.G.; THOMAZ, É.B.A.F.; LIMA, D.M.; LEITÃO, T.J.; BAUER, J.; SOUZA, S.F.C. Chlorhexidine Prevents Root Dentine Mineral Loss and Fracture Caused by Calcium Hydroxide over Time. *Int J Dent*, v. 2017, 2017.

ROSENBERG, B.; MURRAY, P.E.; NAMEROW, K. The effect of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength. *Dent Traumatol*, v. 23, n. 1, p. 26-9, 2007.

RUIZ, P. A.; ANDRADE, A. K. M.; SILVA, C. A. M.
Medicação intracanal, 2002. Disponível em:
<http://www.endodontia.org>.

SAGGAR, V.; CHANDRA, S.; JAISWAL, J. N.; SINGH, M. Antimicrobial efficacy of iodoformized zinc oxide-eugenol sealer on micro-organisms of root canal. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, v.9, n.1, p. 1-3, 1991.

SAID, F.; MOSKOVITZ, M. Effect of Calcium Hydroxide as a Root Canal Dressing Material on Dentin Fracture Strength In Primary Teeth- *In vitro* Study. *J Clin Pediatr Dent*, v. 42, n. 2, p. 146-149, 2018.

SAHEBI, S.; NABAVIZADEH, M.; DOLATKHAH, V.; JAMSHIDI, D. Short term effect of calcium hydroxide, mineral trioxide aggregate and calcium-enriched mixture cement on the strength of bovine root dentin. *Iran Endod J*, v. 7, n. 2, p. 68-73, 2012.

SANTOS, P. S.; OLIVEIRA, N. M. de; RAMOS, T.; DORNELLAS, A. P.; ROCHA, A. de O.; VITALI, F. C.; MOCCELINI, B. S.; RIGO, D. C. A.; MARQUES, R. P. de S.;

PONTES, L. R. A.; MATOS, J. de M.; LOUVAIN, M. C.; SOVIERO, V. L. V. M.; FIDALGO, T. K. da S.; BOLAN, M.; SANTANA, C. M.; CARDOSO, M.; MENDES, F. M. Efficacy of the non-instrumentation endodontic treatment with CTZ paste in primary molars: protocol of a multicenter randomized clinical trial with two years of follow-up. *Res. Soc. Dev.*, v. 11, n. 16, p. e111111637140, 2022.

SEDGLEY, C. M.; MESSER, H. M. Are endodontically treated teeth more brittle? *Endodont*, v. 18, n. 7, p. 332-335, 1992.

SHAH, P. M.; CHONG, B. S.; SIDHU, S. K.; FORD, T. R. Radiopacity of potential root-end filling materials. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, v. 81, n. 4, p. 476-479, 1996.

SHAH, P.; GUGWAD, S. C.; BHAT, C.; LODAYA, R. Effect of three different core materials on the fracture resistance of endodontically treated deciduous mandibular second molars: an in vitro study. *J. Contemp. Dent. Pract.*, v. 13, n. 1, p. 66-70, 1 jan. 2012.

SILVA, L. A. B.; LEONARDO, M. R.; OLIVEIRA, D. S. B. Histopathological evaluation of root canal filling materials for primary teeth. *Braz. Dent. J.*, v. 21, p. 38-45, 2010.

SOARES, C.J.; SANTANA, F.R.; SILVA, N.R.; PEREIRA, J.C.; PEREIRA, C.A. Influence of the endodontic treatment on mechanical properties of root dentin. *J Endod*, v. 33, n. 5, p. 603-6, 2007.

SOUZA, M.A.; BISCHOFF, K.F.; RIGO, B.D.C.; PIUCO, L.; DIDONÉ, A.V.L.; BERTOL, C.D.; ROSSATO-GRANDO, L.G.; BERVIAN, J.; CECCHIN, D. Cytotoxicity of different concentrations of glycolic acid and its effects on root dentin microhardness - An *in vitro* study. *Aust Endod J*, v. 47, n. 3, p. 423-428, 2021.

STRAZZI-SAHYON, H. B.; BANCI, H. A.; MALTAROLLO, T. F. H.; MARTINEZ, C. M. T.; ROCHA, E. A.; FIGUEIREDO, R. B.; GARCIA, D. C. S.; CONSTANTINO, C. J. L.; SPIN-NETO, R.; DUARTE, M. A. H.; CINTRA, L. T. A.; DOS SANTOS, P. H.; SIVIERI-ARAUJO, G. The impact of methylene blue photosensitizer, aPDT and a calcium hydroxide-based paste on the physicochemical and mechanical characteristics of root canal dentin and the bonding interface of fiberglass posts. *J. Photochem. Photobiol. B*, v. 253, 2024.

THOMAZ, A.M.; CHANDRA, S.; S.; PANDEY, R.K. Elimination of infection in pulpectomized deciduous teeth: A short-term study using iodoform paste. *J Endod*, v.20, n.5, p.233-235, 1994.

TERUEL, J. D. D.; ALCOLEA, A.; HERNANDEZ, A.; RUIZ, A. J. Comparison of chemical composition of enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. *Arch. Oral Biol*, v. 60, p. 768-775, 2015.

TORABINEJAD, M.; HONG, C. U.; MCDONALD, F.; PITT FORD, T. R. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J. Endod.*, v. 21, n. 7, p. 349-353, 1995.

TRINDADE, T.F.; BARBOSA, A.F.S.; CASTRO-RAUCCI, L.M.S.; SILVA-SOUSA, Y.T.C.; COLUCCI, V.; RAUCCI-NETO, W. Chlorhexidine and proanthocyanidin enhance the long-term bond strength of resin-based endodontic sealer. *Braz Oral Res*, v. 32, n. 44, 2018.

VALERA, M.C.; ALBUQUERQUE, M.T.; YAMASAKI, M.C.; VASSALLO, F.N.; DA SILVA, D.A.; NAGATA, J.Y. Fracture resistance of weakened bovine teeth after long-term use of calcium hydroxide. *Dent Traumatol*, v. 31, n. 5, p. 385-9, 2015.

VAN NOORT, R.; NOROOZI, S.; HOWARD, I.C.; CARDEW, G. A critique of bond strength measurements. *J Dent*, v. 17, p. 61-7, 1989.

VEIGA, W.K.A.A.; BRUNO, K.F.; PEREIRA, A.L.; *Et al.* Análise comparativa da radiopacidade de três cimentos endodônticos por meio de radiografia digital. *Odontol Bras Central*. v.26, n.79, p. 37-41, 2017.

WANG, Z.; ZHANG, F.; SONG, N.; NI, L. The Influence of Barium Sulfate on the Mechanical Properties of Glass/Epoxy Resin Composite. *Polymers and Polymer Composites*. v. 16, n. 4, p. 257-262, 2008.

WHITE, J.D.; LACEFIELD, W.R.; CHAVERS, L.S.; ELEAZER, P.D. O efeito de três materiais endodônticos comumente usados sobre a força e dureza da dentina raiz. *J Endod*, v. 28, n. 12, p. 828-30, 2002.

YADAV, R.; SINGH, M.; MEENA, A.; LEE, S. Y.; PARK, S. J. Selection and ranking of dental restorative composite materials using hybrid Entropy-VIKOR method: an application of MCDM technique. *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, v. 147. 2023

YI, Q.; FENG, X.; ZHANG, C.; WANG, X.; WU, X.; WANG, J.; CUI, F.; WANG, S. Comparison of dynamic mechanical properties of dentin between deciduous and permanent teeth. *Connect Tissue Res*, v 62, n. 4, p. 402-410, 2021.

ZACHARCZUK, G. A.; TOSCANO, M. A.; LÓPEZ, G. E.; ORTOLANI, A. M. Evaluation of 3Mix-MP and pulpectomias in non-vital primary molars. *Acta Odontol. Latinoam.*, v. 32, n. 1, p. 22-28, 2019.

ZAREI, M.; AFKHAMI, F.; MALEK POOR, Z. Fracture resistance of human root dentin exposed to calcium hydroxide intervisit medication at various time periods: an *in vitro* study. *Dent Traumatol*, v. 29, n. 2, p. 156-60, 2013.

ZHANG, Y.R.; DU, W.; ZHOU, X.D.; YU, H.Y. Review of research on the mechanical properties of the human tooth. *Int J Oral Sci*, v. 6, n. 2, p.61-9, 2014.

ŻUK-GRAJEWSKA, E.; SAUNDERS, W.P.; CHADWICK, R.G. Fracture resistance of human roots filled with mineral trioxide aggregate mixed with phosphate-buffered saline, with and without calcium hydroxide pre-medication. *Int Endod J*, v. 54, n. 3, p. 439-453, 2021.

ARTIGO SUBMETIDO*

ARTIGO I

INFLUENCE OF A NEW FILLING PASTE FOR
PRIMARY TEETH ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF
RADIULAR DENTIN³

³ Matheus Albino Souza, Juliana Arisi Medeiros, Pedro Concatto
Fontana¹, Bernardo Cappellari Vieira.

* Artigo submetido a Clinical Oral Investigation

Abstract

Objectives: The objective of this study was to evaluate the influence of a new filling paste for deciduous teeth on the mechanical properties of root dentin.

Materials and Methods: One hundred thirty bovine teeth were used, with 50 allocated for microhardness assessment, 15 for flexural strength, 15 for cohesive strength, and 50 for fracture resistance. The roots were prepared according to the required standards for each test. Samples were randomly distributed into 5 groups and immersed for 21 days: G1 - saline solution (control); G2 - Experimental Paste; G3 - calcium hydroxide paste; G4 - zinc oxide and eugenol paste; G5 - iodoform paste. Results were statistically analyzed using specific tests for each experiment.

Results: The tests for microhardness, flexural strength, and fracture resistance showed no significant statistical differences among the groups. However, in the cohesive strength test, the control group exhibited the best results, followed by the Experimental Paste group.

Conclusions: The samples tested with the Experimental Paste demonstrated good mechanical behavior in the tests performed. No significant differences were found in microhardness, flexural strength, and fracture resistance. Additionally, the Experimental Paste did not influence the cohesive strength of root dentin.

Clinical Relevance: These findings are important for clinical practice as they suggest that the new filling paste may be a viable option for the treatment of deciduous teeth without compromising the mechanical properties of root dentin.

Keywords: deciduous teeth, root dentin, filling paste, mechanical properties.

Introduction

Endodontic treatment in primary teeth can be indicated for cases of vital or necrotic pulp [1,2], often resulting from dental trauma or deep carious lesions [3]. Preserving the damaged tooth may be the best treatment for maintaining overall oral health, arch space, growth, and integrity [4]. Furthermore, the premature loss of primary teeth can negatively affect the child's oral appearance and function [5]. Therefore, in such cases, it is crucial to remove the irreversibly inflamed or infected radicular pulp tissue, clean the root canal system using irrigating solutions and auxiliary chemicals that are compatible, and subsequently perform obturation with an appropriate material to complete the endodontic treatment [6, 7].

Despite the existence of several materials, none fully meet all the desired criteria for an ideal obturation material. These include being resorbable, radiopaque, bactericidal, non-shrinking, promoting adequate filling and adhesion to the root canal walls, being easily removable when necessary, causing no harm to periapical tissues or to the development of the permanent tooth germ if extravasated, not altering the color of dental structures (especially in anterior teeth), and not interfering with the mechanical properties of radicular dentin [8-10].

Given these limitations, it is necessary to seek a new, effective, and safe material for obturation of primary teeth that does not interfere with the mechanical properties of radicular dentin.

The main disadvantage of endodontic treatment is that the teeth become weak and susceptible to fractures [11]. Therefore, it is important to find materials that provide intracanal stability to avoid endodontic treatment failure and the potential loss of the tooth.

Currently, the literature lacks standardized protocols and an ideal filling material for the endodontic treatment of primary teeth. Despite continuous updates and innovations, there has been little progress in obturation techniques for primary teeth, which remains the biggest challenge in pulpectomy of primary dentition [12].

A previous study developed and tested a new filling paste composed of calcium hydroxide (Ca(OH)_2), chlorhexidine (CHX), barium sulfate (BaSO_4), and neomycin sulfate, evaluating its physical properties in the endodontic context [13]. The paste demonstrated stable and alkaline pH, comparable spreadability to the commercial paste Calen®, excellent radiopacity, non-cytotoxicity, and good antimicrobial activity against *E. faecalis* [13].

However, the influence of this new filling paste on the mechanical properties of radicular dentin has not yet been elucidated, justifying the present study.

Materials and Methods

This study did not require approval from the Animal Ethics Committee of the University of Passo Fundo (UPF), as the samples consisted of bovine teeth extracted from animals slaughtered for commercial purposes. The teeth were donated by Açougue Progresso and Escola Estadual Celeste Gobbato, both located in Palmeira das Missões, RS, Brazil. A total of 130 bovine teeth were used in this study. All teeth were cleaned using periodontal curettes, immersed in a 0.9% saline solution, and stored under refrigeration for a maximum of 3 months prior to use.

The methodology for preparing the microhardness test samples was carried out according to Souza et al. [14], while the preparation for the other tests followed the protocol described by Cecchin et al. [15].

The new filling paste, named Experimental Paste, was formulated in a previous study at the Health Institute of the University of Passo Fundo (Passo Fundo, Rio Grande do Sul), in the Postgraduate Program in Dentistry. This material is composed of calcium hydroxide (Ca(OH)_2), chlorhexidine (CHX), barium sulfate (BaSO_4), and neomycin sulfate. It was prepared for this study at the Institute of Biological Sciences, University of Passo Fundo, in the Pharmacy Program, under the supervision of Professor Dr. Charise. The Experimental Paste was used in this

study, comparing its mechanical performance on radicular dentin with a control group and three other endodontic filling materials for primary teeth, including Ultracal XS calcium hydroxide (Ultradent, Indaiatuba, SP, Brazil), zinc oxide and eugenol cement (SS White, Rio de Janeiro, RJ, Brazil), and Feapex endodontic cement (Fórmula e Ação, São Paulo, SP, Brazil).

Microhardness of Dentin

Fifty bovine teeth were used in this test. The coronal portion was sectioned at the cemento-enamel junction, resulting in a root remnant of 16 mm in length. Two longitudinal grooves were created on the buccal and lingual surfaces along the entire length of the root remnant using a double-sided carborundum disc (American Burrs, Palhoça, Santa Catarina). The roots were cleaved into two halves with the aid of a microtome blade, providing two samples from each root, totaling 100 samples.

The 100 samples were fixed in PVC pipes with acrylic resin, leaving the dentin portion exposed upwards. Subsequently, the samples were ground with abrasive paper of grit sizes 180, 320, and 600 (Metkon, Bursa, Turkey) and polished with diamond papers (Metkon, Bursa, Turkey) under constant cooling with distilled water, achieving a level surface for the dentin samples. The samples were placed in plastic containers filled with distilled water to ensure complete coverage. The containers were placed in

an ultrasonic bath, where a washing cycle was performed for 1 minute to remove debris resulting from the sample preparation. Finally, the samples were dried using suction cannulas and gauze.

The 100 samples were divided into 5 experimental groups (n=20), according to the tested protocol, as shown in Table I.

Table I. Division of experimental groups according to the substances used in the Microhardness Test.

Group	Description
G1	Control (saline solution)
G2	Calcium Hydroxide Paste
G3	Zinc Oxide and Eugenol Paste
G4	Iodoform Paste
G5	EXPERIMENTAL Paste

The samples were placed in plastic containers with lids containing saline solution (control group) or the filling paste, ensuring they were completely covered by the tested material, and the lid was closed. After 21 days of immersion in the filling pastes, the samples were irrigated with sterile saline solution to remove all material and then dried with suction and gauze.

Next, each sample was evaluated for microhardness of the root dentin using a Vickers microhardness tester (Emco Test, Kuchl, Austria) at a magnification of 250x, with a depth of 300 µm,

a load of 300 g, and a dwell time of 20 seconds for the device. For each sample, three indentations were made as described by Cruz Filho et al. [16]. The first indentation was made at a distance of 1,000 μm from the entrance of the root canal, and two other indentations were made 200 μm apart. The representative microhardness value for each sample was obtained by averaging the microhardness values from the three indentations.

Flexural Strength Test

Fifteen bovine teeth were used in this test, whose crowns were removed with diamond cutting discs while maintaining constant refrigeration with water. Subsequently, a cut was made parallel to the long axis to obtain two halves of the root. Each half was then divided into thirds perpendicularly along the long axis, discarding the most apical portion to obtain four specimens from each root. To standardize the size of the samples, abrasive papers with decreasing grits were used. In total, 60 rectangular dentin sticks (1.8 mm thickness x 1.8 mm width x 5.0 mm length) were prepared.

The 60 samples were divided into 5 experimental groups ($n=12$), as previously described. After 21 days of immersion in the tested protocols, the flexural strength test was performed using a mini three-point device with a support span of 3 mm, where each stick was placed in the support gap. A load in MPa was applied to

the central portion of the stick using a Universal Testing Machine (EMIC DL 2000) at a speed of 0.5 mm/min until fracture occurred. The flexural strength (FS) was calculated using the following formula: $FS = 3PL/2bd^2$, where P represents the maximum load at the moment of fracture (N), L represents the distance between the support points (mm), b represents the width of the stick (mm), and d represents the thickness of the stick (mm). The obtained data were expressed in megapascals (MPa).

Fracture Resistance Test

Fifty bovine teeth were used in this test. After removing the coronal portion using a precision cutter (Isomet 1000, Buehler, Illinois, USA) under constant refrigeration, straight roots of 15 mm in length were obtained. For standardization of the roots, reference markings were made on the root surfaces using a projector pen, with locations determined using a digital caliper. The first marking was made 2 mm below the upper cut, the second marking was made 2 mm above the root apex, and the third marking was at the midpoint between the two marks.

Root canals were prepared using Largo drills (MK Life, Porto Alegre, Rio Grande do Sul) that matched the diameter of the root canal. Throughout this procedure, constant measurements were taken with a digital caliper adapted for the internal portion of the canals, until dentin walls of 1 mm thickness were achieved in

all roots, with distilled water used to remove material from the preparation of the root canal. The roots were embedded in acrylic resin using cylindrical plastic PVC molds with ½ inch thickness and 20 mm height, maintaining a root exposure of 3 mm to simulate the biological space.

The 50 samples were divided into 5 experimental groups (n=10), as previously described. The root canals were filled with sterile saline solution (control) and, with the aid of a file or the manufacturers' syringes, the tested filling pastes were applied until overflow occurred at the entrance of the root canal. The roots were sealed with sterile cotton balls and provisional restorative material. After 21 days, the samples were irrigated with sterile saline solution to completely remove the material and were positioned at the bottom of a Universal Testing Machine (EMIC DL 2000). A compressive load was applied vertically to the coronal surfaces of the roots at a loading rate of 1 mm/min until fracture occurred. The load at which the fracture occurred was recorded and expressed in newtons (N).

Cohesive Strength Test

Fifteen bovine teeth were used in this test. The crowns were removed with a carborundum disc under constant refrigeration. The roots were then sectioned along the long axis of the tooth, creating two halves of the root portion. Subsequently, a

perpendicular cut was made along the long axis in both halves to produce 4 fragments of root dentin. The specimens were manually cut into hourglass shapes using a cylindrical drill with a cross-sectional area of approximately 1.0 mm². In total, 60 hourglass-shaped dentin samples were obtained.

The 60 samples were divided into 5 experimental groups (n=12), as previously described. After 21 days of immersion in the tested protocols, each sample was fixed in a microtensile testing apparatus using cyanoacrylate glue (Loctite Super Bonder; Henkel Loctite Corporation, Rocky Hill, CT, USA) and subjected to a cohesive load at 0.5 mm/min in a testing machine (EMIC DL 2000). The cross-sectional area at the fracture site was measured with a digital caliper, and cohesive strength (UTS) was calculated using the following formula: $\sigma = F / A$, where σ represents the maximum cohesive strength, F (N) represents the force applied, and A (mm²) represents the area at the fracture site. The obtained data were also expressed in MPa.

Statistical Analysis

Statistical analysis was performed using the IBM-SPSS program (Armonk, NY, USA), with a significance level set at 5%. The Kolmogorov-Smirnov test was used to confirm the normality of the data. Subsequently, One-way ANOVA, followed by Tukey

HSD test, was employed for multiple comparisons in all assessments.

Results

The table II shows the results found based on the conducted mechanical tests.

The Feapex paste exhibited the highest microhardness value (40.97) compared to the control group and the other tested pastes. The Experimental Paste had a value very similar to Feapex (40.27). The samples immersed in Ultracal showed the lowest microhardness value (36.10). However, the samples evaluated in the microhardness test did not show a statistical difference between the groups.

In the flexural strength test, the samples immersed in saline solution demonstrated the best flexural strength value (253.11). Ultracal performed better than the OZE pastes (249.44), Experimental (236.14), and Feapex (211.21), with the latter remaining the lowest in flexural strength. Nevertheless, the samples evaluated did not show a statistical difference between the groups.

Regarding the fracture resistance test, the control group samples immersed in saline solution exhibited the best values (873.8 N), followed by the Experimental Paste samples, which had an average of 868.12 N. The lowest value was observed in the

group tested with Ultracal (721.37 N). Despite this, the samples evaluated in the fracture resistance test did not show a statistical difference between the groups.

In the cohesive strength test, it was observed that the group of samples tested with saline solution presented the best cohesive strength values (55.17 N), followed consecutively by the group tested with the Experimental Paste (48.54 N) and the group tested with Feapex paste (45.83 N). The samples immersed in Ultracal and OZE pastes had the lowest cohesive strength values, showing a significant statistical difference between the tested groups.

Table II. Results of the mechanical tests performed on the samples after 21 days of immersion in the filling pastes used in the study.

Group	Microhardness	Flexural Strength	Fracture Resistance	Cohesive Strength
Saline Solution	39.88 (6.20) A	253.11 (30.40) A	873.80 (142.50) A	55.17 (8.62) A
Ultracal	36.10 (8.90) A	252.93 (21.74) A	721.37 (128.14) A	33.51 (5.38) B

OZE	37.28 (7.60) A	249.44 (28.15) A	742.84 (107.29) A	29.89 (6.60) B
Feapex	40.97 (7.40) A	211.21 (34.97) A	743.43 (144.25) A	45.83 (3.36) A
Experimental Paste	40.27 (6.30) A	236.14 (20.68) A	868.12 (114.17) A	48.54 (4.49) A

Discussion

Currently, there is no scientific evidence supporting the superiority of any root canal filling material for the endodontic treatment of necrotic primary teeth, as concluded by a meta-analysis study conducted by Pedrotti et al. [17]. Therefore, this study was conducted to bring innovation and standardization to the endodontic protocol for primary teeth, as there has been little scientific progress in the obturation stage of pulpectomy in primary dentition [12].

Endodontically treated teeth generally suffer substantial structural damage due to the original pathology and the invasive nature of endodontic procedures. Consequently, they are more susceptible to fractures compared to vital teeth, necessitating obturation and restorative strategies to minimize the risk of failure [18]. Engelmann [13] elucidated the formulation of the

Experimental Paste to promote better performance in the endodontic treatment of primary teeth, ensuring biocompatibility and favorable biological properties. The purpose of the present research was to complement Engelmann's previous study [13], aiming to demonstrate that the Experimental Paste and its components do not cause additional damage to the remaining structure of the primary tooth undergoing root canal treatment.

Chlorhexidine (CHX) has long been widely used in endodontics for permanent teeth, especially due to its antimicrobial action. This substance possesses a unique characteristic, substantivity, which promotes residual antimicrobial activity in dentin. It is an effective antimicrobial agent against endodontic pathogens and biocompatible with dental tissues [19, 20]. Studies report that chlorhexidine has a strengthening effect on the microhardness of dentin when tested with intracanal irrigants [21-23]. Furthermore, chlorhexidine appears to improve flexural strength [24, 25], cohesive strength [26, 27], and fracture resistance [28, 29] in studies evaluating the mechanical properties of root dentin after exposure to this irrigant.

Among the components of the Experimental Paste, calcium hydroxide is a significant element, as it is a component of several filling pastes already used in endodontics for primary teeth. Its benefits lie in its antimicrobial activity, low toxicity, pH, solubility, antibacterial and antifungal properties, and biocompatibility [7].

However, it presents rapid resorption and low radiopacity [30]. For this reason, the composition of the Experimental Paste combines calcium hydroxide with other elements for intracanal stability, both in biological and mechanical aspects. Some studies have demonstrated that calcium hydroxide is associated with changes in the strength of root dentin in response to endodontic materials [31], decreasing the ability of root dentin to withstand stress. Gúzman et al. [32] suggest that calcium hydroxide should be combined with an antibiotic to achieve better microhardness of root dentin, which aligns with the formulation of the Experimental Paste. Sahebi et al. [33] concluded in their studies that, concerning flexural strength, calcium hydroxide does not seem to interfere with the mechanical properties of root dentin. A more recent study indicates that the use of calcium hydroxide dressing for up to 12 weeks does not negatively affect the fracture resistance of human roots [34].

Currently, some antibiotic pastes are being researched worldwide to assist in the endodontics of primary teeth [35]. Neomycin sulfate is a broad-spectrum antibiotic present in the composition of Otosporin®, a medication indicated as a slow-release dressing in endodontics for permanent teeth [36]. Engelmann's [13] Experimental Paste, which includes neomycin sulfate, has shown no cytotoxic effects and exhibits good antimicrobial activity. In terms of mechanical properties, antibiotic pastes may exhibit less degradation of microhardness when

samples are exposed to antimicrobial agents with water as a vehicle [32]. In the present study, the results indicated no statistical difference between the samples tested with the antibiotic paste and the commercially available pastes (Ultracal, OZE, and Feapex) in the mechanical tests of microhardness, flexural strength, and fracture resistance. However, in the cohesive strength test, the samples tested with the Experimental Paste exhibited a higher fracture load than Feapex, Ultracal, and ZOE, falling only behind the control group of samples tested that were immersed in saline solution.

Radiopacity is an essential attribute for filling materials, as it is crucial for clinicians to observe the filling of the root canal, and it is also important for differentiating the filling from adjacent bone and root dentin in radiographs [37]. A study developed three new radiopaque root filling materials by adding barium sulfate, bismuth trioxide, and zirconium dioxide to compare with a radiopaque filling material without additives, assessing which combination performed best concerning physicochemical and biological properties. In addition to good radiopacity, the three new materials exhibited significantly greater strength than the material without additional radiopacifiers, indicating that the use of barium sulfate may not interfere with the mechanical properties of the filling material [38]. This finding is consistent with the present study, as the use of the tested Experimental Paste not only

demonstrated good radiopacity [13] but also maintained the mechanical properties of root dentin similarly to the samples tested with the filling pastes used in this study in microhardness, flexural strength, and fracture resistance tests, while showing superior behavior in the cohesive strength test.

The characteristics and properties found in filling pastes must be analyzed, as they are fundamental to confirming their desirable attributes and ideal criteria, such as possessing antiseptic properties, being easily insertable, being radiopaque, not staining the dental element, and maintaining mechanical property stability [6]. According to previous studies, mechanical parameters such as flexural strength, cohesive strength, fracture resistance, and microhardness of dentin evaluated in laboratory studies aid in developing new materials through the analysis of the effects of chemical agents on the remaining healthy hard tissue [39, 40]. With the results of the present study, it can be observed that the Experimental Paste exhibits good mechanical behavior with root dentin, as the tests conducted showed similar or superior behavior compared to other pastes. Thus, it may represent an alternative to existing filling materials on the market.

Despite the statistical similarities found in tests of microhardness, flexural strength, and fracture resistance, the use of the Experimental Paste did not influence the cohesive strength of root dentin. This study complements Engelmann's [13] research,

which found favorable biological properties for the new proposed filling paste for primary teeth. Ultimately, the main rationale for this line of study is the necessity to establish a standard protocol in the endodontic therapy of primary teeth, including a filling paste that meets the criteria for an ideal material for this application.

This study holds significant clinical relevance as it seeks a new alternative for filling root canals in primary teeth, particularly focused on optimizing the process, given that the proposal for the Experimental Paste is to make it available ready for use. Further studies are necessary for the Experimental Paste to be used in human subjects.

Conclusion

Considering the limitations of the present study, it can be concluded that the samples tested with the Experimental Paste F5 (Ca(OH)_2 , CHX, BaSO_4 , and Neomycin Sulfate) exhibited good mechanical behavior in the tests performed. Among the tested groups, there were no statistical differences in the tests of microhardness, flexural strength, and fracture resistance. Furthermore, the Experimental Paste does not appear to influence the cohesive strength of root dentin.

However, further studies are necessary to evaluate other important properties in the development of a new formulation. Before using new filling pastes in the root canals of humans, a

series of laboratory studies must be conducted to determine their benefits and consequences, as well as in vivo studies of this new Experimental Paste.

References

1. Assed S, Freitas AC, Silva LAB, Nelson-Filho P (2005) Tratamiento endodóntico en dientes temporales. In: Leonardo MR (Org.). Endodoncia: tratamiento de conducto radiculares – principios técnicos e biológicos. São Paulo: Artes Médicas, 1ed, v. 1, p. 151-208.
2. Nelson-Filho P, Segato RAB, Queiroz AM, De Rossi A, Carvalho FK, Silva LAB (2018) Tratamento endodôntico conservador e radical em dentes decíduos: qual a conduta? In: Duarte D, Feres M, Fontana UF (eds). Odontopediatria – estado atual da arte: educação, diagnóstico e intervenção estético-funcional. São Paulo: Napoleão, p. 246-265.
3. American Academy of Pediatric Dentistry (2018) Guideline on pulp therapy for primary and young permanent teeth. *Pediatr Dent*, 40(6):343-351.
4. American Academy of Pediatric Dentistry (2016) Guideline on restorative dentistry. *Pediatr Dent*, 38(5):107-119.

5. Nadelman P, Bedran N, Magno MB, Masterson D, De Castro ACR, Maia LC (2020) Premature loss of primary anterior teeth and its consequences to primary dental arch and speech pattern: a systematic review and meta-analysis. *Int J Paediatr Dent*, 30(6):687-712.
6. Lopes HP, Siqueira JF (2004) *Endodontia: Biologia e Técnica*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Medsi-Guanabara Koogan S. A., p. 964.
7. Cassol DV, Duarte ML, Pintor ABV, Barcelos R, Primo LG (2019) Iodoform vs calcium hydroxide/zinc oxide based pastes: 12-month findings of a randomized controlled trial. *Braz Oral Res*, 33.
8. Pinto DN, De Sousa DL, Rocha RBA, Moreira-Neto JJS (2011) Eighteen-month clinical and radiographic evaluation of two root canal-filling materials in primary teeth with pulp necrosis secondary to trauma. *Dent Traumatol*, 27:221-224.
9. Jung-Wei C, Monserrat J (2012) Materials for primary tooth pulp treatment: the present and the future. *Endodontic Topics*, 23:41-49.
10. Kazandag KM, Basrani B, Yamagishi VTK, Azarpazhooh A, Friedman S (2016) Fracture resistance of simulated immature tooth roots reinforced with MTA or restorative materials. *Dent Traumatol*, 32(2):146-152.

11. Sedgley CM, Messer HM (1992) Are endodontically treated teeth more brittle? *Endodont*, 18(7):332-335.
12. Imparato JC (2013) *Anuário de Odontopediatria Clínica*. São Paulo: Napoleão, 1ed, 196p.
13. Engelmann JL (2022) Avaliação das propriedades de uma nova pasta para obturação de canais radiculares de dentes decíduos. Tese (Doutorado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, Universidade de Passo Fundo, 241p.
14. Souza MA, Bischoff KF, Rigo BDC, Piuco L, Didoné AVL, Bertol CD, Rossato-Grando LG, Bervian J, Cecchin D (2021) Cytotoxicity of different concentrations of glycolic acid and its effects on root dentin microhardness - An in vitro study. *Aust Endod J*, 47(3):423-428.
15. Cecchin D, Giaretta VS, Cadorin BG, Souza MA, Vidal CMP, Farina AP (2017) Effect of synthetic and natural-derived novel endodontic irrigant solutions on mechanical properties of human dentin. *J Mater Sci Mater Med*, 28(9).
16. Cruz Filho AM, Sousa Neto MD, Savioli RN, Silva RG, Vansan LP, Pécora JD (2011) Effect of chelating solutions on the microhardness of root canal lumen dentin. *J Endod*, 37(3):358-362.
17. Pedrotti D, Bottezini PA, Casagrande L, Braga MM, Lenzi TL (2023) Root canal filling materials for endodontic

treatment of necrotic primary teeth: a network meta-analysis. *Eur Arch Paediatr Dent*, 24(2):151-166.

18. Caussin E, Izart M, Ceinos R, Attal JP, Beres F, François P (2024) Advanced material strategy for restoring damaged endodontically treated teeth: a comprehensive review. *Mater (Basel)*, 17(15):3736.

19. Ferraz CC, Gomes BP, Zaia AA, Teixeira FB, Souza-Filho FJ (2001) In vitro assessment of the antimicrobial action and the mechanical ability of chlorhexidine gel as an endodontic irrigant. *J Endod*, 27:452-455.

20. Mohammadi Z, Abbott PV (2009) The properties and applications of chlorhexidine in endodontics. *Int Endod J*, 42:288–302.

21. Fan W, Li Y, Liu D, Sun Q, Duan M, Fan B (2019) PLGA submicron particles containing chlorhexidine, calcium and phosphorus inhibit *Enterococcus faecalis* infection and improve the microhardness of dentin. *J Mater Sci Mater Med*, 30(2).

22. Kulkarni S, Mustafa M, Ghatole K, Alqahtani AR, Asiri FY, Alghomlas ZI, Alothman TA, Alhajri FF (2021) Evaluation of 2% Chlorhexidine and 2% Sodium Fluoride as Endodontic Irrigating Solutions on Root Dentine Microhardness: An In vitro Study. *Eur J Dent*, 15(2):253-258.

23. Lobo RC, Mora RT, Murillo-Gómez F, Guerreiro-Tanomaru J, Tanomaru-Filho M, Reyes-Carmona J (2022) Final

irrigation protocols affect radicular dentin DMP1-CT expression, microhardness, and biochemical composition. Clin Oral Investig, 26(8):5491-5501.

24. Marcelino AP, Bruniera JF, Rached-Junior FA, Silva SR, Messias DC (2014) Impact of chemical agents for surface treatments on microhardness and flexural strength of root dentin. Braz Oral Res, 28:1806-832.

25. Ribeiro MRG, Thomaz ÉBAF, Lima DM, Leitão TJ, Bauer J, Souza SFC (2017) Chlorhexidine prevents root dentine mineral loss and fracture caused by calcium hydroxide over time. Int J Dent, 2017:2017.

26. Trindade TF, Barbosa AFS, Castro-Raucci LMS, Silva-Sousa YTC, Colucci V, Raucci-Neto W (2018) Chlorhexidine and proanthocyanidin enhance the long-term bond strength of resin-based endodontic sealer. Braz Oral Res, 32:44.

27. Nassar TH, Arcís BC, Gallardo PV, Sanz GV, Moscardó PA, Silla AJM, Company MJM (2019) Effect of 2% Chlorhexidine Following Acid Etching on Microtensile Bond Strength of Resin Restorations: A Meta-Analysis. Medicina (Kaunas), 55(12):769.

28. Aksel H, Askerbeyli-Örs S, Deniz-Sungur D (2017) Vertical root fracture resistance of simulated immature permanent teeth filled with MTA using different vehicles. J Clin Exp Dent, 9(2)

29. Rahimi S, Ghasemi N, Jabbari G, Zaheri Z, Torabi ZS, Darehchi NR (2022) Effect of different intracanal medicaments on the fracture resistance of the human root. *Dent Res J (Isfahan)*, 19(9).
30. Queiroz AM, Assed S, Consolaro A, Nelson-Filho P, Leonardo MR, Silva RA, Silva RAB, Silva LAB (2011) Subcutaneous connective tissue response to primary root canal filling materials. *Braz Dent J*, 22(3):203-211.
31. Batur YB, Erdemir U, Sancakli HS (2013) The long-term effect of calcium hydroxide application on dentin fracture strength of endodontically treated teeth. *Dent Traumatol*, 29(6):461-464.
32. Gúzman S, Caccia M, Cortés O, Bolarin JM, Requena A, Garcia-Godoy A, Garcia-Godoy F, Boj JR (2022) Human root dentin microhardness and degradation by triple antibiotic paste and calcium hydroxide. *Am J Dent*, 35(2):205-211.
33. Sahebi S, Nabavizadeh M, Dolatkah V, Jamshidi D (2012) Short term effect of calcium hydroxide, mineral trioxide aggregate and calcium-enriched mixture cement on the strength of bovine root dentin. *Iran Endod J*, 7(2):68-73.
34. Żuk-Grajewska E, Saunders WP, Chadwick RG (2021) Fracture resistance of human roots filled with mineral trioxide aggregate mixed with phosphate-buffered saline, with and

without calcium hydroxide pre-medication. *Int Endod J*, 54(3):439-453.

35. Chouchene F, Masmoudi F, Baaziz A, Maatouk F, Ghedira H (2021) Antibiotic mixtures in noninstrumental endodontic treatment of primary teeth with necrotic pulps: a systematic review. *Int J Dent*, 2021:2021.

36. Ruiz PA, Andrade AKM, Silva CAM (2002) Medicação intracanal. Disponível em: <http://www.endodontia.org>.

37. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR (1995) Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod*, 21(7):349-353.

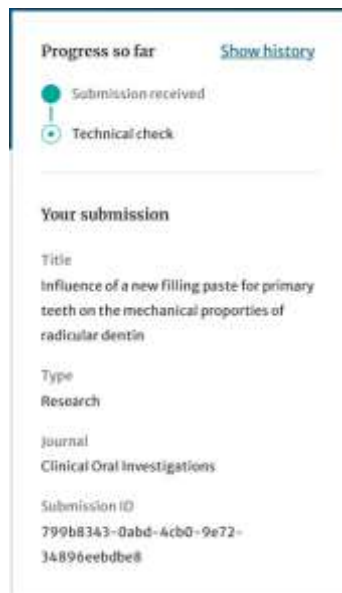
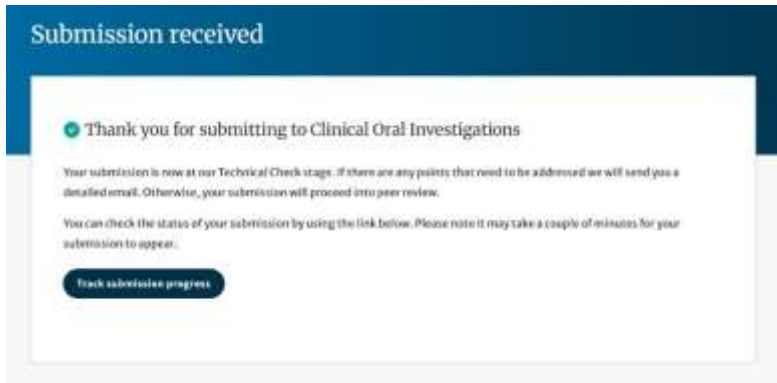
38. Chen YZ, Lü XY, Liu GD (2018) Effects of different radio-opacifying agents on physicochemical and biological properties of a novel root-end filling material. *PLoS One*, 13(2).

39. Cecchin D, Farina AP, Souza MA, Albarello LL, Schneider AP, Vidal CMP, et al. (2015) Evaluation of antimicrobial effectiveness and dentine mechanical properties after use of chemical and natural auxiliary irrigants. *J Dent*, 43(6):611-617.

40. Zhang YR, Du W, Zhou XD, Yu HY (2014) Review of research on the mechanical properties of the human tooth. *Int J Oral Sci*, 6(2):61-69.

ANEXOS

ANEXO 1 – Comprovante de submissão do artigo





Clinical Oral Investigations

10:50

Para: ju_arisi@hotmail.com >

**Clinical Oral Investigations -
Receipt of Manuscript 'Influence of
a...'**

Ref: Submission ID

799b8343-0abd-4cb0-9e72-34896eebdbe8

Dear Dr Arisi Medeiros,

Please note that you are listed as a co-author on the manuscript "Influence of a new filling paste for primary teeth on the mechanical properties of radicular dentin", which was submitted to Clinical Oral Investigations on 23 October 2024 UTC.

If you have any queries related to this manuscript please contact the corresponding author, who is solely responsible for communicating with the journal.

Kind regards,

Editorial Assistant
Clinical Oral Investigations