



UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

Thiago Ferreira de Araújo

**Análise da adaptação marginal de materiais à base de
silicato de cálcio (Biodentine, Bio C Repair, MTA Cinza e MTA
Branco) no selamento apical de dentes com rizogênese**

Anápolis, 2026

Thiago Ferreira de Araújo

Análise da adaptação marginal de materiais à base de silicato de cálcio (Biodentine, Bio C Repair, MTA Cinza e MTA Branco) no selamento apical de dentes com rizogênese incompleta

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Odontologia. Área de concentração: Clínica Odontológica. Orientador: Prof. Dr. Helder Fernandes de Oliveira.

A663

Araújo, Thiago Ferreira de.

Análise da adaptação marginal de materiais à base de silicato de cálcio (Biodentine, Bio C Repair, MTA Cinza e MTA Branco) no selamento apical de dentes com rizogênese / Thiago Ferreira de Araújo – Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás – UniEvangélica, 2026.

40p.; il.

Orientadora: Prof. Dr. Helder Fernandes de Oliveira.

Dissertação (mestrado) – Programa de pós-graduação em Odontologia – Universidade Evangélica de Goiás – UniEvangélica, 2026.

1. Cimentos de silicato 2. Microscopia óptica 3. Obturação do canal radicular
4. Desenvolvimento da raiz dentária I. Oliveira, Helder Fernandes II. Título

CDU 616.314

Catálogo na Fonte
Elaborado por Rosilene Monteiro da Silva CRB1/3038



FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA ADAPTAÇÃO MARGINAL DE MATERIAIS À BASE DE SILICATO DE CÁLCIO
NO SELAMENTO APICAL DE DENTES COM RIZOGÊNESE INCOMPLETA POR MEIO DA
MICROSCOPIA ÓPTICA.

Thiago Ferreira de Araújo

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação
em Odontologia - PPGO da
Universidade Evangélica de
Goiás

- UniEVANGÉLICA como
requisito parcial à obtenção do
grau de MESTRE.

Aprovado em 12 de

fevereiro de 2026.

Linha de Pesquisa: _____

Técnicas, Materiais e Substâncias de Aplicação Clínica e Laboratorial em Odontologia

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
gov.br HELDER FERNANDES DE OLIVEIRA
Data: 14/02/2024 19:58:23-0000
Verifique em <https://validar.dl.gov.br>

Prof. Dr. Helder Fernandes de Oliveira
Orientador / UniEVANGÉLICA

Documento assinado digitalmente
gov.br ORLANDO AGUIRRE GUEDES
Data: 14/02/2024 20:09:13-0000
Verifique em <https://validar.dl.gov.br>

Prof. Dr. Orlando Aguirre Guedes
Examinador Interno / UniEVANGÉLICA

Documento assinado digitalmente
gov.br MÔNICA MISAÉ ENDO
Data: 14/02/2024 19:29:11-0000
Verifique em <https://validar.dl.gov.br>

Profa. Dra. Mônica Misaé Endo
Examinadora Externa / UniEVANGÉLICA

Anápolis, 2026

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO PROJETO.....	7
3. OBJETIVOS.....	8
3.1. Objetivo geral.....	8
3.2. Objetivos específicos.....	8
4. REVISÃO DE LITERATURA	9
4.1. Propriedades físico-químicas e composição do MTA Branco.....	11
4.2. Propriedades físico-químicas e composição do Cimento Portland	12
4.3. Propriedades físico-químicas e composição do Bio C Repair	14
4.4. Propriedades físico-químicas e composição do MTA Cinza	15
4.5. Propriedades físico-químicas e composição do Biodentine	16
4.6. Microscopia óptica	18
5. HIPÓTESES.....	20
6. METODOLOGIA	21
7. RESULTADOS.....	24
8. DISCUSSÃO.....	26
9. CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS.....	32

RESUMO

Objetivo: Avaliar a adaptação marginal de diferentes materiais à base de silicato de cálcio utilizados no selamento apical de dentes com rizogênese incompleta.

Material e Método: Oitenta e quatro dentes bovinos com rizogênese incompleta foram selecionados e distribuídos aleatoriamente em quatro grupos experimentais (n = 21): G1 – MTA Branco; G2 – Bio C Repair; G3 – MTA Cinza; e G4 – Biodentine. Após apicectomia, cavidades retrógradas de 3 mm foram confeccionadas e preenchidas conforme as recomendações dos fabricantes. A adaptação marginal foi avaliada em microscopia óptica por meio de escores variando de 0 (ausência de fendas) a 4 (fendas em toda a área analisada), considerando quatro quadrantes por espécime. As imagens foram analisadas por examinador cego e previamente calibrado, com avaliação repetida após 7 dias. A análise estatística foi realizada pelos testes de Kruskal-Wallis e Dwass-Steel-Critchlow-Fligner ($\alpha = 5\%$). A concordância intraexaminador foi avaliada pelo coeficiente kappa. **Resultados:** O coeficiente kappa foi de 0,87, indicando excelente concordância intraexaminador. Das 84 amostras analisadas, 44,1% apresentaram algum grau de desadaptação marginal. O grupo MTA Branco apresentou a maior proporção de escores 0, evidenciando melhor adaptação marginal (85,5%), enquanto o Bio C Repair apresentou a maior frequência de desadaptação (81%). Diferença estatisticamente significativa foi observada apenas entre os grupos MTA Branco e Bio C Repair ($p < 0,01$), não havendo diferenças significativas entre os demais materiais. **Conclusão:** O MTA Branco apresentou melhor desempenho quanto à adaptação marginal no selamento apical, enquanto o Bio C Repair demonstrou maior incidência de desadaptação. Os demais materiais apresentaram comportamento semelhante, sem diferenças estatisticamente significativas.

Palavras-chave: cimentos de silicato, microscopia óptica, obturação do canal radicular, desenvolvimento da raiz dentária.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the marginal adaptation of different calcium silicate–based materials used for apical sealing in teeth with incomplete rhizogenesis by optical microscopy. **Materials and Methods:** Eighty-four bovine teeth with incomplete rhizogenesis were randomly allocated into four experimental groups ($n = 21$): G1 – White MTA; G2 – Bio C Repair; G3 – Gray MTA; and G4 – Biodentine. After apicoectomy, 3-mm deep retrograde cavities were prepared and filled according to the manufacturers' instructions. Marginal adaptation was assessed under optical microscopy using a scoring system ranging from 0 (absence of gaps) to 4 (gaps along the entire analyzed area), considering four quadrants per specimen. All images were evaluated by a blinded and previously calibrated examiner, with a second evaluation performed after a 7-day interval. Statistical analysis was performed using the Kruskal–Wallis test followed by the Dwass–Steel–Critchlow–Fligner post hoc test ($\alpha = 5\%$). Intraexaminer agreement was assessed using the kappa coefficient. **Results:** The kappa value was 0.87, indicating excellent intraexaminer agreement. Among the 84 specimens analyzed, 44.1% showed marginal gaps. White MTA presented the highest percentage of specimens with score 0, indicating complete marginal adaptation (85.5%), whereas Bio C Repair showed the highest frequency of marginal disadaptation (81%). A statistically significant difference was observed only between White MTA and Bio C Repair ($p < 0.01$). No significant differences were found among the other materials. **Conclusion:** White MTA demonstrated superior marginal adaptation for apical sealing compared to Bio C Repair, while the remaining calcium silicate–based materials exhibited similar performance.

Keywords: calcium silicate cements, root canal obturation, microscopy optical, tooth root development.

1. INTRODUÇÃO

A necrose pulpar em dentes com rizogênese incompleta, frequentemente associada a traumas ou infecções endodônticas, configura-se como um dos maiores desafios clínicos em Odontopediatria e Endodontia. Nesses casos, a interrupção do desenvolvimento radicular resulta em ápices abertos, paredes dentinárias delgadas e canais amplos, o que dificulta a aplicação de técnicas convencionais de obturação e compromete o estabelecimento de um selamento apical adequado. (1-4).

Diante desse cenário clínico, a escolha da abordagem terapêutica deve considerar o grau de vitalidade pulpar remanescente. Procedimentos regenerativos, como a revascularização, são indicados quando ainda existem células viáveis no complexo dentino-pulpar entretanto, em situações de necrose pulpar, a apicificação com a formação de uma barreira apical artificial permanece como uma conduta amplamente consolidada e previsível. (1-4). Nesse contexto, os cimentos à base de silicato de cálcio, incluindo o MTA branco, Bio-C Repair MTA Cinza e Biodentine, têm sido amplamente utilizados devido às suas propriedades bioativas, biocompatibilidade, capacidade de induzir a formação de tecidos mineralizados e adequado comportamento físico-químico em contato com os tecidos periapicais. (5-10).

Entre os fatores determinantes para o sucesso clínico desses materiais, destaca-se a adaptação marginal à dentina radicular, uma vez que falhas na interface material-dente podem favorecer a infiltração bacteriana, comprometendo o selamento apical e a longevidade do tratamento endodôntico. (11-16). Diversos métodos têm sido empregados para avaliar essa adaptação marginal, como a microscopia eletrônica de varredura (MEV), a microscopia óptica e a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), sendo esta última reconhecida por permitir análises tridimensionais e não destrutivas da interface de união. (9,11,17-20).

Entretanto, a microscopia óptica permanece como uma ferramenta metodológica relevante para a avaliação da adaptação marginal, especialmente por permitir a análise direta da interface material-dentina, com custo reduzido, fácil acesso, boa reprodutibilidade e adequada resolução para a identificação de

fendas marginais e descontinuidades na interface de união. Além disso, quando avaliados por escores padronizados e com a calibração adequada do examinador, a microscopia óptica apresenta confiabilidade satisfatória e resultados comparáveis aos obtidos por métodos mais complexos, sendo amplamente empregada em estudos laboratoriais de avaliação de materiais endodônticos. (17-22).

Dessa forma, o objetivo geral deste estudo foi avaliar a adaptação marginal de diferentes materiais à base de silicato de cálcio utilizados no selamento apical de dentes com rizogênese incompleta, por meio da microscopia óptica. A hipótese nula testada foi a de que não há diferença significativa na adaptação marginal apical entre os diferentes materiais à base de silicato de cálcio quando empregados em dentes com rizogênese incompleta e avaliados por microscopia óptica.

2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO PROJETO

A rizogênese incompleta em dentes permanentes representa um desafio clínico significativo, particularmente no que se refere ao manejo da formação radicular, que, quando interrompida por traumas ou patologias, resulta em ápices abertos e paredes radiculares finas e frágeis. Nessas condições, o selamento apical adequado torna-se um passo crucial para evitar infiltrações bacterianas, garantir o sucesso do tratamento endodôntico e promover um ambiente propício à regeneração e cicatrização.

Nos últimos anos, os materiais à base de silicato de cálcio têm emergido como alternativas promissoras devido às suas propriedades biocompatíveis, capacidade de induzir mineralização e vedamento hermético. No entanto, a eficácia desses materiais no selamento apical de dentes com ápices abertos ainda é tema de investigação, especialmente no contexto de sua adaptação marginal e resistência à infiltração, aspectos determinantes para o prognóstico do tratamento. A microscopia óptica permite uma análise detalhada dessas características, fornecendo informações críticas sobre o desempenho clínico dos materiais testados.

Este estudo se justifica pela necessidade de identificar os materiais mais eficazes no selamento apical em casos de rizogênese incompleta, contribuindo para a redução das taxas de insucesso endodôntico e garantindo melhores desfechos terapêuticos. Além disso, os resultados poderão embasar a escolha clínica de materiais, otimizar protocolos de tratamento e ampliar o conhecimento sobre o comportamento dos biomateriais sob condições desafiadoras, promovendo avanços na prática odontológica e beneficiando diretamente os pacientes.

A relevância do projeto reside na sua contribuição para a prática clínica e para a literatura científica, abordando uma lacuna importante relacionada à eficácia comparativa dos materiais à base de silicato de cálcio. Os achados poderão não apenas influenciar diretamente a escolha de biomateriais, mas também estabelecer um novo padrão de cuidado para casos de dentes com rizogênese incompleta, com implicações significativas na Odontologia regenerativa e restauradora.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a adaptação margina apical de dentes com rizogênese incompleta com diferentes materiais a base de silicato de cálcio.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.2.1. Avaliar através da microscopia óptica a adaptação marginal de diferentes materiais a base de silicato de cálcio: MTA branco, , Bio C Repair, MTA cinza e Biodentine em dentes com rizogênese incompleta.

3.2.2. Favorecer a escolha de um material que seja eficaz no tratamento de dente com rizogênese incompleta, que tenha uma melhor adaptação apical, evitando infiltrações no ápice radicular.

4. REVISÃO DE LITERATURA

Amálgama, IRM e agregado trióxido mineral foram testados para reparo de perfurações radiculares por Liu & Torabinejad. (14). No trabalho, foram selecionados cinquenta molares mandibulares e maxilares. Uma perfuração foi criada na superfície da raiz mesial. As perfurações foram coradas com azul de metileno e examinadas através de um microscópio. Os resultados mostraram que o agregado trióxido mineral teve um melhor preenchimento de espaços vazios do que o amálgama e o IRM. Tanto IRM quanto o amálgama demonstraram uma quantidade maior de penetração do corante em relação ao MTA, mostrando, conseqüentemente, que o MTA obteve um menor grau de vazamento do corante em relação aos outros materiais.

Torabinejad *et al.* (11). Investigaram a adaptação marginal do agregado trióxido mineral em comparação com outros materiais obturadores. Foram selecionados oitenta e oito dentes e avaliados por meio de microscopia eletrônica de varredura. As amostras foram preparadas, limpas e obturadas com guta-percha. A extremidade da raiz foi preparada e preenchida com amálgama, Super-EBA, IRM ou MTA. As raízes foram seccionadas e preparadas. Foi avaliado, em quatro pontos diferentes, através do MEV, o grau de preenchimento. Após a análise estatística, o estudo mostrou que o MTA teve melhor adaptação em comparação com a amálgama, Super-EBA e IRM.

Torabinejad *et al.* (11). Avaliou, através de um trabalho experimental, que o MTA pode ser uma alternativa como material restaurador aos materiais usados em endodontia. Estudos mostraram que o MTA previne microinfiltração, é biocompatível e promove a regeneração dos tecidos quando colocado em contato íntimo com a polpa dentária, sendo, assim, um material de extrema importância no dia a dia clínico.

Torabinejad *et al.* (5). Avaliaram quarenta e seis dentes humanos extraídos de raiz única para a análise da obturação com MTA. Após todo o preparo das amostras, as raízes de todos os dentes foram colocadas em nanquim por 48 horas. As raízes foram divididas e examinadas quanto ao vazamento do corante. Não houve vazamento perceptível em dentes com MTA utilizado como material

de obturação. Com base no presente estudo, foi possível concluir que o MTA tem uma boa capacidade de selamento.

Sarkar *et al.* (6). Através de estudos, caracterizaram as interações do MTA com um fluido de tecido sintético composto por uma solução salina. O MTA exposto ao fluido de tecido sintético produziu precipitados com uma composição semelhante à hidroxiapatita. Foi observado que os dentes preparados endodonticamente e preenchidos com MTA foram armazenados por dois meses e, após esse tempo, observou-se a formação de uma parede de dentina que se assemelhava à hidroxiapatita. Os autores concluíram que o cálcio, o íon dominante do MTA, reage com fosfatos no fluido sintético, produzindo hidroxiapatita. A capacidade de selamento, biocompatibilidade e atividade dentinogênica do MTA são atribuídas a essas reações físico-químicas.

Oliveira *et al.* (23). Compararam o cimento Portland com o MTA por apresentarem características químicas semelhantes. O estudo teve como objetivo comparar componentes do cimento Portland e de duas marcas comerciais de MTA (Pro-Root e MTA Angelus). Doze espécimes de cada material foram examinados através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectroscopia dispersiva de energia para obter a porcentagem de elementos químicos. O bismuto estava presente apenas nos cimentos de MTA para fornecer radiopacidade. De acordo com os autores, concluiu-se que os cimentos testados têm componentes semelhantes quanto à composição química, tornando o cimento Portland uma opção ao MTA para uso clínico.

Bidar *et al.* (24). Compararam a adaptação marginal de três materiais de obturação (agregado de trióxido mineral branco - MTA branco, MTA cinza e cimento Portland), utilizando microscopia eletrônica de varredura. O estudo contou com setenta e cinco dentes humanos extraídos de raiz única. Os canais foram preparados, instrumentados e obturados com guta-percha. A ressecção da extremidade radicular e o preparo das cavidades foram realizados. As cavidades foram preenchidas com MTA branco, MTA cinza ou cimento Portland. Com auxílio da microscopia eletrônica de varredura, foram analisadas as lacunas do material com a parede dentinária. Os resultados indicaram que o gap

entre o MTA cinza e a parede de dentina foi menor em comparação com os outros materiais.

4.1. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E COMPOSIÇÃO DO MTA BRANCO

Bidar *et al.* (24). Também compararam a adaptação marginal do MTA branco, MTA cinza e cimento Portland para selamento apical, observando que todos possuem silicato tricálcico, aluminato tricálcico, óxido tricálcico e óxido de silicato. Foi observado, através de microscopia eletrônica de varredura, que o material com melhor resultado em termos de adaptação marginal foi o MTA cinza.

Tanomaru *et al.* (25). Analisaram quatro diferentes radiopacificadores associados ao MTA branco e ao cimento Portland. O MTA é composto por cimento Portland e um radiopacificador (óxido de bismuto). O objetivo foi avaliar tempo de presa, solubilidade, pH, liberação de íons cálcio e radiopacidade do cimento Portland puro ou associado a quatro radiopacificadores (sulfato de bário, carbonato de bismuto, óxido de bismuto e iodofórmio), comparados ao MTA branco. Os resultados mostraram que o sulfato de bário não alterou o tempo de presa final do cimento Portland. Já o cimento Portland associado ao iodofórmio apresentou solubilidade acima dos 3% recomendados pela ISO. Todos os materiais proporcionaram alcalinização do meio e promoveram liberação de íons cálcio. Concluiu-se que o carbonato de bismuto ou óxido de bismuto proporcionaram tempo de presa inicial, solubilidade, pH, liberação de íons cálcio e radiopacidade adequados quando associados ao cimento Portland.

Dawood *et al.* (7). Evidenciaram que os cimentos à base de silicato de cálcio são biomateriais ativos, ou seja, têm a capacidade de induzir uma resposta favorável dos tecidos. O agregado de trióxido mineral (MTA) é composto principalmente de silicato dicálcico e tricálcico. O MTA libera baixos níveis de arsênio, semelhantes aos encontrados no cimento Portland. Entretanto, a quantidade liberada é mínima, não acarretando contraindicações. Esse tipo de material é utilizado em procedimentos da área da endodontia, como regeneração pulpar, pulpotomia, apicificação e selamento de perfurações. Dentre suas características, Dawood *et al.*(7). Observaram a importante capacidade de selamento e biocompatibilidade, o que confere ao MTA relevância em diversas

situações clínicas. Apesar do desempenho laboratorial e clínico superior do MTA em comparação ao Ca(OH)_2 , o material apresenta propriedades de manuseio ruins e um longo tempo de presa. Novos materiais estão sendo estudados como alternativas promissoras ao MTA, no entanto, mais pesquisas são necessárias para validar essa hipótese. O cálcio (Ca^{2+}) liberado pelo MTA aumenta a viabilidade, proliferação e diferenciação osteoblástica, enquanto o OH^- aumenta a alcalinidade do meio, tornando-o desfavorável ao crescimento bacteriano. Os cimentos à base de silicato de cálcio são considerados biomateriais ativos, pois induzem uma resposta favorável dos tecidos do hospedeiro.

Sarzeda *et al.* (26). Analisaram a composição química dos cimentos MTA Angelus branco, cinza e HP Repair, por meio de microscopia eletrônica de varredura. Foram confeccionados cinco corpos de prova de cada tipo de cimento estudado. As amostras foram analisadas com microscópio eletrônico de varredura acoplado à espectrometria de energia dispersiva. Os elementos químicos com distribuição normal (média de 5%) foram submetidos ao teste ANOVA, e o teste de Kruskal-Wallis foi aplicado para os de distribuição assimétrica. Após a análise, observou-se para o MTA branco: O, Na, K, Mg, Al, Ca e Bi; para o MTA cinza: O, Mg, Al, Si, Ca, Bi, Fe e S; e para o Repair HP: O, Al, Mg, Si, Ca, Fe, Sr, C, Rb e W.

4.2. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E COMPOSIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

Torabinejad *et al.* (11). Investigaram a composição química, o pH e a radiopacidade do agregado trióxido mineral (MTA), comparando ainda o tempo de presa, a resistência à compressão e a solubilidade desse material com os do amálgama, Super EBA e material restaurador intermediário (IRM). Por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), determinaram que os principais íons presentes no MTA são cálcio e fósforo. O pH inicial do material foi de 10,2, aumentando para 12,5 após três horas. Em termos de radiopacidade, o MTA apresentou valores superiores ao Super EBA e ao IRM. O tempo de presa do MTA foi o mais prolongado (2h45min), enquanto o amálgama apresentou o menor. Após 24 horas, o MTA demonstrou menor resistência à compressão (40 MPa), mas esse valor aumentou para 67 MPa após 21 dias. Nenhum dos

materiais avaliados apresentou solubilidade adequada conforme os métodos aplicados.

Holland *et al.* (27). Demonstraram semelhanças entre os componentes do MTA e do cimento Portland, tanto em sua composição química quanto em sua atuação clínica, especialmente em procedimentos de proteção pulpar direta. Os autores relataram reações teciduais equivalentes entre os dois materiais, reforçando o caráter bioativo do MTA e sua superioridade em relação ao hidróxido de cálcio.

De forma semelhante, Saidon *et al.* (28). Não encontraram diferenças significativas na morfologia e quantidade de células adjacentes ao MTA e ao cimento Portland, sugerindo reações biológicas semelhantes e reforçando a viabilidade do uso clínico de ambos. Embora o cimento Portland apresente baixo custo e propriedades de selamento comparáveis às do MTA, sua aplicação clínica ainda demanda estudos adicionais de biocompatibilidade.

Camilleri *et al.* (29). Caracterizaram os produtos de hidratação do MTA, do cimento Portland branco e do óxido de bismuto utilizando difração de raios X. Os cimentos foram avaliados antes e após 30 dias de hidratação. Ambos os materiais produziram silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e hidróxido de cálcio. O MTA apresentou baixos níveis de aluminato tricálcico e liberação de íons cálcio mais intensa que o cimento Portland, decorrente da decomposição do C-S-H e do hidróxido de cálcio, com diminuição progressiva ao longo de cinco semanas.

Bidar *et al.* (24). Mostraram que o MTA é menos suscetível à infiltração em comparação com outros materiais, e que, devido à similaridade de composição com o cimento Portland, seria esperado que ambos apresentassem propriedades físico-químicas semelhantes.

Oliveira *et al.* (30). Analisaram a adaptação marginal de materiais de obturação endodôntica (IRM, amálgama, ProRoot MTA, Super-EBA e Epiphany/Resilon) por meio de MEV. Os resultados indicaram a presença de lacunas em todos os materiais, sem diferença estatística significativa entre eles.

Oliveira *et al.* (31). Investigaram o cimento Portland associado a diferentes concentrações de óxido de cálcio. Apenas o MTA apresentou radiopacidade

acima do mínimo recomendado. Nenhum dos cimentos testados demonstrou eficácia antimicrobiana. Contudo, a análise morfológica e química indicou similaridade entre os materiais avaliados.

Dawood *et al.* (32). Descreveram que o MTA é composto por cimento Portland e óxido de bismuto, apresentando partículas hidrofílicas que endurecem quando misturadas à água. O cimento Portland, por sua vez, é composto predominantemente por silicatos dicálcico e tricálcico. A hidratação forma um gel composto de Ca(OH)_2 e silicato de cálcio, sendo esses os responsáveis pelas propriedades hidráulicas do material. Os autores destacam que a biocompatibilidade, a interação físico-química e a capacidade de selamento são essenciais para o sucesso clínico do material, sendo esta última possivelmente atribuída à ligação química entre o MTA e a dentina. Ainda, observaram que a adição de cloreto de cálcio (CaCl_2) ao cimento Portland aumentou significativamente sua força de ligação.

4.3. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E COMPOSIÇÃO DO BIO C REPAIR

O Bio C Repair, material endodôntico de nova geração, apresenta características de biocompatibilidade, resistência e bioatividade superiores em comparação com outros materiais, como o MTA e o cimento Portland. Cimentos biocerâmicos à base de silicato de cálcio apresentam como principais componentes o silicato tricálcico e o silicato dicálcico, cuja hidratação resulta na formação de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e hidróxido de cálcio, responsáveis pela bioatividade e pelo potencial de selamento a longo prazo. Camilleri *et al.* (33). No caso do Bio-C Repair, estudos de caracterização química demonstraram a presença desses compostos, além de óxido de cálcio e outros elementos em menores proporções, o que pode influenciar diretamente seu comportamento clínico e sua adaptação marginal. Sarzeda. *et al.*(34). De acordo com Tanomaru-Filho *et al.* (35). A composição do Bio C Repair é similar à do MTA, mas apresenta menor solubilidade, maior resistência à compressão e uma menor liberação de íons de cálcio, o que contribui para uma melhor estabilidade do material. Estudos prévios demonstraram que cimentos à base de silicato de cálcio apresentam propriedades mecânicas adequadas e elevada biocompatibilidade, promovendo resposta tecidual favorável quando

empregados em procedimentos de reparo endodôntico. Dawood *et al.* (7). observaram reação inflamatória reduzida e potencial bioativo superior ao hidróxido de cálcio, com desempenho comparável ou superior ao MTA, dependendo da composição do material. Com base nesses achados, materiais biocerâmicos mais recentes, como o Bio-C Repair, foram desenvolvidos com o objetivo de potencializar essas propriedades. Estudos laboratoriais demonstram que cimentos à base de silicato de cálcio apresentam valores de microdureza superiores ou comparáveis ao MTA, refletindo maior estabilidade mecânica após o processo de hidratação. Oliveira *et al.* (36). Observaram microdureza significativamente maior em determinados cimentos biocerâmicos quando comparados ao MTA, sugerindo melhor resistência estrutural ao longo do tempo. Com base nesses princípios, materiais biocerâmicos mais recentes, como o Bio-C Repair, foram desenvolvidos visando aprimorar essas propriedades mecânicas. No entanto, apesar de suas qualidades, o Bio C Repair não é isento de limitações. Camilleri *et al.* (33). Observaram que o material, embora altamente eficaz em termos de biocompatibilidade e propriedades mecânicas, ainda apresenta variações em sua qualidade dependendo do fabricante, o que sugere a necessidade de mais estudos comparativos sobre diferentes lotes e suas aplicações clínicas.

4.4. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E COMPOSIÇÃO DO MTA CINZA

O MTA Cinza é um material endodôntico amplamente utilizado para selamento apical e reparação de perfurações, devido à sua excelente biocompatibilidade e propriedades de selamento. Composto principalmente por cimento Portland, silicato tricálcico, óxido de bismuto e outros minerais, o MTA Cinza apresenta características químicas e estruturais semelhantes ao MTA branco, com a principal diferença sendo a presença de óxido de ferro, responsável pela coloração cinza. Sarkar *et al.* (6).

Torabinejad *et al.* (11). Relataram que o MTA Cinza possui um pH inicial de 10,2, que se eleva para 12,5 após três horas, indicando sua capacidade de formar um ambiente alcalino propício à mineralização. A radiopacidade do MTA Cinza é superior à do MTA branco, tornando-o uma opção vantajosa quando a visualização radiográfica é crítica. Além disso, o MTA Cinza apresenta

excelentes propriedades de selamento, com resultados superiores ao cimento Portland e ao Super EBA em estudos de infiltração marginal Bidar *et al.* (24).

No entanto, a utilização do MTA Cinza apresenta algumas considerações clínicas. Camilleri *et al.* (33). Demonstraram que, apesar de suas boas propriedades físico-químicas, o MTA Cinza tem uma maior tendência a manchar tecidos adjacentes, especialmente quando utilizado em áreas visíveis. Isso é atribuído à presença do óxido de ferro, que contribui para a coloração do material. Esse fator é uma limitação significativa em procedimentos de reparo estético, onde o MTA Branco é preferido.

Em relação à resistência mecânica, Siqueira *et al.* (37). Observaram que o MTA cinza, embora apresente valores iniciais de resistência à compressão inferiores aos do cimento Portland, demonstra ganho progressivo dessas propriedades ao longo do tempo, em decorrência do processo contínuo de hidratação dos silicatos de cálcio, garantindo desempenho satisfatório em longo prazo. Além disso, a liberação de íons cálcio e a consequente elevação do pH promovem um ambiente alcalino desfavorável ao crescimento bacteriano e biologicamente favorável à cicatrização tecidual, conforme evidenciado em estudos histológicos experimentais conduzidos por Holland *et al.* (38).

Embora o MTA cinza seja amplamente utilizado em diferentes situações clínicas, sua aplicação em áreas estéticas requer cautela, uma vez que apresenta maior potencial de manchamento dentário e tecidual quando comparado a versões brancas ou a outros cimentos biocerâmicos mais recentes. Esse fenômeno está relacionado principalmente à presença de óxidos metálicos, como óxido de ferro, em sua composição. Dessa forma, o MTA cinza tem sido preferencialmente indicado para procedimentos nos quais a estética não constitui fator determinante, como tratamentos endodônticos em regiões profundas, cirurgias pararendodônticas e reparo de perfurações radiculares. Camilleri *et al.* Felman D *et al.* Torabinejad *et al.* (8,39,5).

4.5. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E COMPOSIÇÃO DO BIODENTINE

O Biodentine é um material endodôntico à base de silicato de cálcio que se destaca por sua elevada biocompatibilidade, resistência mecânica e capacidade de promover adequado selamento apical. Desenvolvido como alternativa ao

mineral trioxide aggregate (MTA), o Biodentine foi formulado com o objetivo de facilitar a manipulação clínica e reduzir significativamente o tempo de presa. Sua composição é baseada predominantemente em silicato tricálcico, associado a carbonato de cálcio, sílica e óxidos metálicos em menores proporções, além de aditivos presentes no líquido de manipulação que atuam como aceleradores de presa. Esses componentes contribuem para a formação de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) durante o processo de hidratação, conferindo ao material propriedades mecânicas superiores e comportamento biológico favorável. Laurent P *et al*; Camilleri J *et al*; Grech L *et al*; Koubi G *et al*. (40,41,42,43).

Camilleri *et al*. (44). Descreveu o Biodentine como um material à base de silicato de cálcio com características físico-químicas semelhantes às do agregado de trióxido mineral (MTA), porém com a vantagem de apresentar tempo de presa significativamente reduzido e valores superiores de resistência à compressão após o endurecimento. Durante o processo de hidratação, o Biodentine forma um gel de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), responsável pelo rápido ganho de resistência mecânica e pela estabilidade estrutural do material. Essas propriedades tornam o Biodentine particularmente atrativo em situações clínicas que demandam menor tempo de espera para endurecimento, como o reparo de perfurações radiculares e procedimentos restauradores temporários em dentes permanentes.

Em relação à biocompatibilidade, o Biodentine destaca-se por sua capacidade de estimular a formação de dentina reparadora, conforme demonstrado em estudos *in vitro* e *ex vivo* que evidenciaram a liberação de fatores de crescimento e a indução de diferenciação odontoblástica. Além disso, o material apresenta pH inicial elevado, em torno de 12,5, decorrente da liberação de íons cálcio durante o processo de hidratação, criando um ambiente alcalino favorável à cicatrização tecidual e à inibição do crescimento bacteriano. Estudos histológicos também demonstram resposta tecidual favorável e adequada adaptação aos tecidos periapicais, com mínima reação inflamatória associada ao uso do Biodentine. Laurent P, Camps J, About I *et al*; About I, Camilleri J, Laurent P About I *et al*; Nowicka A, Lipski M, Parafiniuk M, *et al*. (40,45,46,41).

Dawood *et al.*(47). Realizaram uma análise da microdureza do Biodentine em comparação com o MTA e encontraram resultados que indicam uma resistência mecânica superior, sendo o Biodentine mais robusto em termos de resistência à compressão, fator essencial em procedimentos de selamento apical. Essa resistência superior pode ser vantajosa em situações em que a integridade estrutural ao longo do tempo é crítica, como em dentes com alto risco de fratura.

Uma limitação relatada para o Biodentine refere-se à sua maior suscetibilidade ao desgaste e à solubilidade quando exposto a condições de umidade contínua, especialmente em períodos iniciais após a manipulação, o que pode comprometer a longevidade do material em determinados contextos clínicos. Estudos físico-químicos demonstram que esse comportamento está relacionado ao processo de hidratação e à liberação inicial de íons cálcio. Entretanto, após o período de maturação, o Biodentine apresenta valores satisfatórios de resistência à compressão e estabilidade mecânica, mantendo desempenho adequado para a maioria das indicações clínicas endodônticas. Camilleri J, Laurent P, About I *et al*; About I *et al.* (41,42,10).

Além disso, sua coloração branca, que o aproxima da tonalidade do dente, o torna uma opção preferencial para tratamentos estéticos, especialmente em dentes anteriores, onde a estética é um fator importante. Camilleri *et al.*(44). Destacam ainda a facilidade de manipulação do Biodentine, que permite um melhor controle no momento da aplicação, especialmente em dentes com anatomia complexa.

Em termos de liberação de íons de cálcio, o Biodentine apresenta um padrão semelhante ao do MTA, promovendo a formação de cálcio nos tecidos circundantes. Essa característica não apenas auxilia na mineralização, mas também favorece a regeneração e reparação dos tecidos dentários, especialmente em dentes com infecção endodôntica ou lesões periapicais. Camilleri J, Laurent P, About I *et al.* (40,41,45).

4.6. MICROSCOPIA ÓPTICA

A microscopia óptica tem sido amplamente empregada na odontologia tanto em pesquisas laboratoriais quanto na prática clínica, devido à sua capacidade

de fornecer imagens detalhadas das estruturas dentárias e interfaces restauradoras com mínima preparação das amostras. Estudos clássicos demonstraram que técnicas ópticas, como a microscopia confocal de varredura a laser, permitem a obtenção de cortes ópticos seriados e reconstruções tridimensionais, possibilitando a análise precisa da morfologia dentinária, da interface dente–material restaurador e da penetração de adesivos nos túbulos dentinários, sem os artefatos frequentemente associados à metalização exigida na microscopia eletrônica de varredura (SEM). Watson TF; Nawrocka A, Łukomska-Szymańska M, Kosek K, *et al.* (17,21,18). Nesse contexto, a microscopia óptica confocal se consolidou como uma ferramenta relevante para estudos de adesão dental e avaliação de selamento marginal, especialmente quando se busca preservar a integridade estrutural da amostra analisada. Van Meerbeek B, Vargas M, Inoue S, *et al.* (17,21,48).

Além do campo experimental, a microscopia óptica também apresenta grande impacto clínico, especialmente por meio do uso do microscópio operatório em procedimentos endodônticos. Revisões sistemáticas indicam que a magnificação óptica associada à iluminação coaxial melhora significativamente a visualização do campo operatório, favorecendo a identificação de canais acessórios, fraturas radiculares, perfurações e falhas de adaptação de materiais restauradores. Setzer FC, Kohli MR, Shah SB, Karabucak B *et al.*; Del Fabbro M, Taschieri S, Lodi G, Banfi G, Weinstein RL *et al.* (49,50,51,52). Métodos ópticos mais recentes, como a tomografia de coerência óptica (OCT), ampliam ainda mais as possibilidades diagnósticas ao permitir a visualização não invasiva de estruturas internas do dente, sendo aplicada na detecção precoce de cáries, avaliação de restaurações e análise de tecidos periodontais. Gomes ASL, Zezell DM, Mota CCBO, Girkin JM *et al.* (53,54,55,56). Dessa forma, a microscopia óptica se estabelece como um método complementar e, em determinadas situações, alternativo à microscopia eletrônica, oferecendo vantagens como análise em tempo real, menor custo operacional e maior aplicabilidade clínica.

5. HIPÓTESES

Hipótese Nula (H_0)

Não há diferença significativa na adaptação marginal e no selamento apical entre os diferentes materiais à base de silicato de cálcio utilizados em dentes com rizogênese incompleta, quando avaliados por microscopia óptica.

Hipótese Conceitual (H_1)

Os diferentes materiais à base de silicato de cálcio apresentam variações significativas na adaptação marginal e no selamento apical em dentes com rizogênese incompleta, sendo que alguns materiais demonstram maior eficácia na prevenção de infiltrações, quando observado pela microscopia óptica.

6. METODOLOGIA

Seleção e preparo da amostra

Este estudo utilizará dentes bovinos devido às semelhanças anatômicas com dentes humanos em estágios iniciais de rizogênese. Foram selecionados 84 dentes bovinos, com rizogênese incompleta, provenientes de abatedouros regulamentados. A seleção foi baseada em radiografias digitais pré-operatórias, considerando dentes sem calcificações, reabsorções internas ou externas, e com comprimento radicular mínimo de 14 mm.

Os dentes foram armazenados em solução de timol a 0,2% até o início do experimento. As coroas foram seccionadas utilizando brocas Endo Z (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Switzerland) brocas diamantadas em alta rotação, a fim de se padronizar o comprimento radicular em 14 mm, conforme medição com paquímetro digital (precisão de 0,01 mm).

Preparo do canal radicular

O terço cervical do canal radicular de cada dente foi preparado utilizando brocas de Gates-Glidden ISO de n. 4 até n. 5 (Dentsply/Maillefer). A odontometria foi realizada pela visualização da lima K-File de n.15 no forame apical seguido de recuo de 1 mm (método visual). Os terços apicais dos canais radiculares foram ampliados até lima K-File ISO de n. 50 (Dentsply/Maillefer). Durante o preparo dos canais radiculares, os mesmos foram irrigados com 3 mL de hipoclorito de sódio a 1% (Fitofarma, Goiânia, GO, Brasil) a cada troca de instrumento. Os canais radiculares foram secos com cones de papel correspondentes ao último instrumento, e preenchidos com EDTA a 17% (pH 7,2) (Biodinâmica, Ibiporã, PR, Brazil) por 3 minutos para remoção da smear layer. A seguir, os canais radiculares foram novamente irrigados com 3 mL de hipoclorito de sódio a 1% e secos com cones de papel absorventes de n. 50.

Divisão dos grupos experimentais e plug apical

Os dentes foram divididos aleatoriamente em quatro grupos experimentais (n=21), conforme o material de selamento apical a ser utilizado (Quadro 1).

Grupos Experimentais	Tipo de Cimento à base de silicato de cálcio
G1 (n=21)	MTA Branco (Angelus, Londrina, PR, Brasil)
G2 (n=21)	Bio C Repair (Angelus, Londrina, PR, Brasil)
G3 (n=21)	MTA Cinza (Angelus, Londrina, PR, Brasil)
G4 (n=21)	Biodentine™ (Septodont, St. Maurdes Fossés, França)

Seccionamento das raízes e avaliação da adaptação marginal

Após o preparo, todas as raízes foram seccionadas transversalmente com um disco diamantado de dupla face (4" de diâmetro × 0,012" de espessura × 1/2"; Arbor, Extéc, Enfield, CT, EUA) montado em micrótomo de tecido duro (Isomet 1000, Buehler, Lake Bluff, IL, EUA) em baixa velocidade com resfriamento a água a 3 mm aquém do ápice. Os discos foram analisados em estereomicroscópio (Expert DN; Müller Optronic, Erfurt, Alemanha) com aumento de 40x, e imagens de cada seção foram capturadas. Um total de 21 imagens foram obtidas em cada grupo. As imagens foram inspecionadas e a área do conjunto material-dentina de cada amostra foi dividida em quatro quadrantes e classificada de acordo com a presença (DiComite et al., 2015) e extensão (Oliveira et al., 2013) da desadaptação em cinco escores diferentes:

- Escore 0: Ausência de fendas.
- Escore 1: Fendas em até 1/4 da área analisada.
- Escore 2: Fendas em até 2/4 da área analisada.
- Escore 3: Fendas em até 3/4 da área analisada.
- Escore 4: Fendas em toda a área analisada.

Todas as imagens foram analisadas por um examinador cego e previamente calibrado. O mesmo examinador avaliou as imagens duas vezes, com intervalo de 7 dias entre as avaliações.

Análise estatística

A análise estatística foi realizada usando o software Jamovi 1.1.9 (The Jamovi Project, 2024). Os diferentes materiais a base de silicato de cálcio foram comparados considerando a frequência dos escores de adaptação marginal por meio do teste de Kruskal-Wallis. Comparações múltiplas foram feitas usando o teste Dwass-Steel-Critchlow-Fligner. O nível de significância estabelecido para todas as análises estatísticas foi $\alpha = 5\%$. A concordância intraexaminador foi avaliada pelo coeficiente kappa em 10% da amostra.

7. RESULTADOS

O valor de kappa foi de 0,87, indicando excelente concordância intraexaminador. Das 84 amostras analisadas, 37 (44,1%) apresentaram desadaptação marginal (Tabela 1). O grupo 1 apresentou a maior proporção de amostras com escore 0, indicando adaptação marginal completa na interface de união com as paredes dentinárias (18–85,5%). Em contraste, o grupo 2 apresentou a maior frequência de escores de desadaptação marginal (17– 81%). Na comparação entre os diferentes materiais seladores testados, foram observadas diferenças estatisticamente significativas apenas entre os grupos 1 e 2 ($p < 0,01$). Não foram encontradas diferenças significativas nas comparações pareadas entre os demais grupos (Tabela 2). Imagens representativas da adaptação marginal são apresentadas na Figura 2.

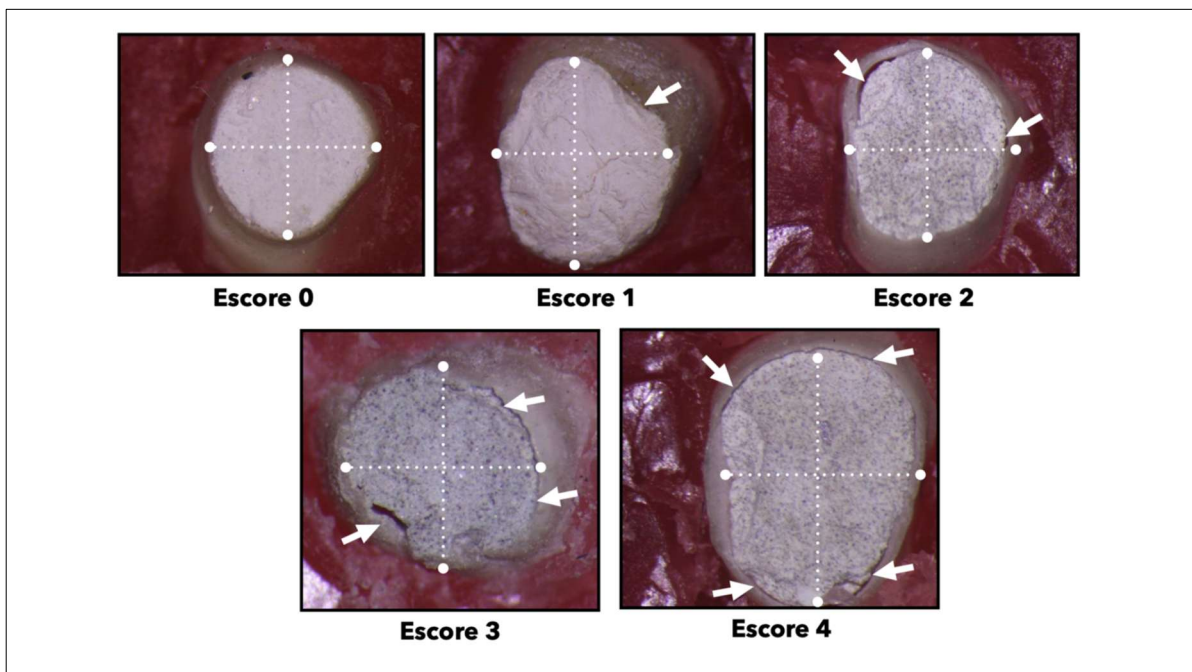


Figura 2. Representação dos escores usados na avaliação da adaptação marginal para os grupos testados.

Tabela 1. Distribuição dos escores de adaptação marginal nos diferentes grupos experimentais

Grupos experimentais	Escores de Adaptação N (%)					
	0	1	2	3	4	TOTAL
G1. MTA Branco	18 (85,5%)	1 (4,7%)	2 (9,5%)	0 (0%)	0 (0%)	21 (100%)
G2. Bio C Repair	4 (19%)	4 (19%)	5 (23,9%)	1 (4,7%)	7 (33,3%)	21 (100%)
G3. MTA Cinza	13 (61,9%)	0 (0%)	3 (14,2%)	1 (4,7%)	4 (19%)	21 (100%)
G4. Biodentine	12 (57,1%)	2 (9,5%)	4 (19%)	2 (9,5%)	1 (4,7%)	21 (100%)
TOTAL	47 (55,9%)	7 (8,3%)	14 (16,7%)	4 (4,8%)	12 (14,3%)	84 (100%)

Tabela 2. Comparação entre grupos conforme escore de adaptação marginal

Grupos experimentais		Valor de p
G1. MTA Branco	G2. Bio C Repair	<0.01
G1. MTA Branco	G3. MTA Cinza	0.186
G1. MTA Branco	G4. Biodentine	0.142
G2. Bio C Repair	G3. MTA Cinza	0.154
G2. Bio C Repair	G4. Biodentine	0.051
G3. MTA Cinza	G4. Biodentine	0.998

8. DISCUSSÃO

A evolução conceitual da endodontia observada nas últimas décadas, impulsionada pela revolução científica, tem proporcionado novas alternativas terapêuticas para a resolução de problemas anteriormente considerados de prognóstico limitado. A consolidação dos princípios de limpeza e modelagem do sistema de canais radiculares, aliada aos avanços nos métodos de diagnóstico por imagem e ao maior entendimento dos mecanismos microbiológicos envolvidos nas infecções endodônticas, contribuiu de forma significativa para o aumento dos índices de sucesso clínico e para o desenvolvimento de abordagens mais conservadoras, incluindo estratégias baseadas na engenharia tecidual e no uso de materiais bioativos (57–59).

Diante do diagnóstico de insucesso do tratamento endodôntico, diferentes opções terapêuticas podem ser consideradas, como o retratamento não cirúrgico, a cirurgia pararendodôntica ou, em situações extremas, a exodontia. A escolha da conduta está diretamente relacionada à etiologia da falha, frequentemente associada à persistência microbiana e à deficiência no selamento do sistema de canais radiculares (60,61). Nesse contexto, o selamento apical por meio de materiais biocerâmicos tem sido amplamente investigado, especialmente quanto à sua capacidade de adaptação marginal e vedação, propriedades fundamentais para a prevenção da microinfiltração e para a manutenção da saúde periapical (62).

No presente estudo, avaliou-se a adaptação marginal de diferentes materiais à base de silicato de cálcio utilizados no selamento apical, por meio da microscopia óptica com aumento de 40X. Na comparação entre os materiais analisados, foram observadas diferenças estatisticamente significativas apenas entre os grupos 1 e 2, não sendo detectadas diferenças relevantes nas demais comparações pareadas. Esses achados corroboram resultados de estudos prévios que demonstram comportamento semelhante entre materiais biocerâmicos quanto à adaptação apical, com variações dependentes do tipo de material e do método de análise empregado (63). Além disso, o desempenho biológico favorável do MTA e de outros cimentos à base de silicato de cálcio já

foi amplamente demonstrado em estudos histológicos, reforçando sua indicação clínica como material selador apical (64).

A adaptação marginal entre os materiais endodônticos e as paredes do canal radicular é considerada um fator crítico para o sucesso do tratamento, uma vez que falhas nessa interface podem favorecer a microinfiltração bacteriana e a perpetuação do processo infeccioso. Estudos clássicos demonstram que a adequada interação entre o material selador e a dentina radicular está associada a uma melhor resposta tecidual e à redução da infiltração apical (27,65,66). Dessa forma, a adaptação marginal constitui um dos principais critérios laboratoriais utilizados para avaliar a qualidade do selamento e o potencial desempenho clínico dos materiais biocerâmicos em procedimentos endodônticos.

Diversos métodos microscópicos têm sido empregados para a avaliação da adaptação marginal, com destaque para a microscopia óptica (MO) e a microscopia eletrônica de varredura (MEV). O MEV é amplamente utilizado em estudos que investigam materiais como o MTA, o Biodentine e outros cimentos biocerâmicos, devido à sua elevada resolução e maior profundidade de campo, que permitem a visualização detalhada da interface material–dentina e a identificação de irregularidades superficiais em escala micrométrica (43,64,67). Essas características tornam o MEV especialmente adequada para análises quantitativas da adaptação marginal, sendo frequentemente considerada um método de referência em estudos in vitro.

Entretanto, a utilização do MEV apresenta limitações metodológicas relevantes. O preparo das amostras envolve etapas rigorosas, como desidratação, metalização e, em alguns casos, fratura ou seccionamento, procedimentos que podem induzir a formação de artefatos e alterar a interface a ser analisada. Além disso, o elevado custo do equipamento, a necessidade de mão de obra especializada e o maior tempo requerido para a análise limitam sua aplicação rotineira, especialmente em laboratórios com infraestrutura restrita (22,68).

Em contrapartida, a microscopia óptica tem sido amplamente investigada como método complementar para a avaliação da adaptação marginal de

materiais biocerâmicos. Estudos comparativos indicam que, para falhas marginais de maior amplitude, a MO pode fornecer resultados próximos aos obtidos por MEV, apresentando boa reprodutibilidade (22,68). Entre suas principais vantagens destacam-se o menor custo, a facilidade de operação, a rapidez na análise e a necessidade mínima de preparo das amostras, o que reduz significativamente o risco de introdução de artefatos durante o processamento (22,68).

Apesar dessas vantagens, a microscopia óptica apresenta limitações inerentes à resolução da luz visível, o que dificulta a detecção de falhas muito estreitas e de detalhes finos na interface entre a dentina e o cimento biocerâmico. Como consequência, os valores de adaptação marginal obtidos por MO tendem a ser maiores quando comparados aos observados em análises por MEV, especialmente em estudos quantitativos (19,20,22). A literatura enfatiza que essa divergência não invalida o uso da microscopia óptica, mas reforça a necessidade de interpretar seus resultados à luz de suas limitações metodológicas (19,20).

Nesse sentido, a MO pode ser considerada uma ferramenta útil em estudos com materiais biocerâmicos como método inicial de triagem ou para análises comparativas gerais, enquanto o MEV se mostra mais indicada quando o objetivo é a avaliação detalhada e de alta precisão da adaptação marginal (19,20). Assim, a escolha do método microscópico deve levar em consideração o objetivo do estudo, a escala de análise desejada e os recursos disponíveis. A utilização combinada de diferentes métodos, empregando a microscopia óptica para análises preliminares e a SEM para validação e aprofundamento dos achados, representa uma abordagem metodológica robusta e amplamente aceita na literatura (16,69).

No que se refere ao substrato dentário, este constitui um componente central em estudos *in vitro* que avaliam a adaptação marginal de materiais biocerâmicos. A literatura científica sustenta de forma consistente o uso de dentes bovinos como modelo experimental alternativo aos dentes humanos (70). Estudos morfológicos demonstram que a dentina bovina apresenta semelhanças relevantes em relação à dentina humana, especialmente quanto à organização

e ao diâmetro dos túbulos dentinários, à composição mineral e às características estruturais observadas por microscopia eletrônica de varredura (71).

Adicionalmente, a proximidade das propriedades físicas e químicas entre dentes bovinos e humanos, como dureza, permeabilidade dentinária e conteúdo mineral, constitui um argumento recorrente na literatura para a utilização desse substrato em pesquisas laboratoriais. Tais características favorecem a obtenção de resultados comparáveis em estudos que avaliam selamento marginal, microinfiltração e adaptação de materiais endodônticos em condições *in vitro* (72). Do ponto de vista metodológico, a utilização de dentes bovinos oferece ainda vantagens relacionadas à obtenção e padronização amostral, uma vez que a coleta de dentes humanos é limitada por questões éticas, legais e pela elevada variabilidade clínica associada à idade, histórico restaurador e condições patológicas. Em contrapartida, dentes bovinos, geralmente provenientes de animais jovens, podem ser obtidos em maior quantidade e com menor variabilidade estrutural, contribuindo para a redução de vieses experimentais e para o aumento da reprodutibilidade dos resultados (70–72).

Dessa forma, à luz da literatura científica, a utilização de dentes bovinos em estudos *in vitro* de adaptação marginal de materiais biocerâmicos mostra-se metodologicamente justificável e cientificamente consistente, especialmente em pesquisas em nível de mestrado. Quando associada a métodos de análise microscópica adequados, essa escolha contribui para a obtenção de resultados confiáveis e comparáveis (72,73).

Portanto, a integração entre a escolha do substrato dentário e o método de análise microscópica revela-se fundamental em estudos laboratoriais de adaptação marginal de biocerâmicos. O uso de dentes bovinos associado de forma complementar à microscopia óptica e à microscopia eletrônica de varredura permite uma abordagem metodológica mais robusta, na qual a microscopia óptica contribui para a triagem e padronização das amostras, enquanto o MEV possibilita a análise detalhada e de alta precisão da interface material–dentina. Essa estratégia integrada fortalece a validade interna do estudo e confere maior consistência à interpretação e à extrapolação dos achados, dentro dos limites inerentes aos modelos experimentais *in vitro* (73).

Conclui-se, portanto, que o potencial de selamento de um material endodôntico deve ser avaliado de forma multifatorial, considerando não apenas sua adaptação marginal, mas também suas propriedades físico-químicas, antimicrobianas e sua biocompatibilidade. Os materiais biocerâmicos avaliados apresentam comportamento favorável frente às propriedades analisadas, sustentando sua indicação como materiais para selamento apical. No entanto, novos estudos devem ser conduzidos com diferentes metodologias e níveis de análise, considerando as limitações inerentes às condições laboratoriais, especialmente quando se utilizam métodos baseados na microscopia óptica (19,20,22).

9. CONCLUSÃO

Conforme a metodologia descrita, pode-se concluir que dentre os materiais estudados para selamento apical em dentes com rizogênese incompleta e avaliando adaptação marginal, o grupo 1 (MTA Branco) apresentou a maior proporção de amostras com escore 0, indicando adaptação marginal completa na interface de união com as paredes dentinárias. Em contraste, o grupo 2 (Bio C Repair) apresentou a maior frequência de escores de desadaptação marginal.

REFERÊNCIAS

1. Maroto M, Barbería E, Planells P, Vera V. Treatment of a non-vital immature incisor with mineral trioxide aggregate (MTA). *Dent Traumatol.* 2003;19(3):165–9.
2. Nicoloso GF, Goldenfum GM, Pizzatto TDSD, et al. Pulp revascularization or apexification for the treatment of immature necrotic permanent teeth: systematic review and meta-analysis. *J Clin Pediatr Dent.* 2019;43(5):305–13.
3. Giuliani V, Baccetti T, Pace R, Pagavino G. The use of MTA in teeth with necrotic pulps and open apices. *Dent Traumatol.* 2002;18(4):217–21.
4. Murray PE. Review of guidance for the selection of regenerative endodontics, apexogenesis, apexification, pulpotomy, and other endodontic treatments for immature permanent teeth. *Int Endod J.* 2023;56(2):188–99.
5. Torabinejad M, Parirokh M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview – part II: other clinical applications and complications. *Int Endod J.* 2018;51(3):284–317.
6. Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2005;31(2):97–100.
7. Dawood AE, Parashos P, Wong RHK, Reynolds EC, Manton DJ. Calcium silicate-based cements: composition, properties, and clinical applications. *J Investig Clin Dent.* 2017;8(2): e12207.
8. Camilleri J. Characterization of hydration products of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2008;41(5):408–17.
9. Oliveira HF, Gonçalves E, Alencar AH, Poli Figueiredo JA, Guedes OA, Decurcio DA, Estrela C. Evaluation of marginal adaptation of root-end filling materials using scanning electron microscopy. *Iran Endod J.* 2013 Fall;8(4):182–6.
10. Gandolfi MG, Siboni F, Prati C. Properties of calcium silicate-based cements for endodontic use. *J Endod.* 2014;40(6):851–7.
11. Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod.* 1995;21(6):295–9.

12. Hackmeister DR, Schindler WG, Walker WA 3rd, Thomas DD. The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. *J Endod*. 2002;28(5):386–90.
13. Xavier CB, Weismann R, Oliveira MG, Demarco FF, Pozza DH. Root-end filling materials: apical microleakage and marginal adaptation. *J Endod*. 2005;31(7):539–42.
14. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod*. 1993;19(11):541–4.
15. Tay FR, Loushine RJ, Weller RN, et al. Ultrastructural evaluation of the apical seal in roots filled with a polycaprolactone-based root canal filling material. *J Endod*. 2005;31(7):514–9.
16. Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Iravani A, Kharrazifard MJ, Dummer PMH. Marginal adaptation of new bioceramic materials and mineral trioxide aggregate: a scanning electron microscopy study. *Iran Endod J*. 2014;9(2):144–8.
17. Watson TF. Applications of confocal scanning optical microscopy to dentistry. *Br Dent J*. 1991;171(9):287–91.
18. Nawrocka A, Łukomska-Szymańska M, Kosek K, et al. Traditional microscopic techniques employed in dental adhesion research—applications and protocols of specimen preparation. *Biosensors (Basel)*. 2021;11(11):408.
19. Groten M, Axmann D, Pröbster L, Weber H. Determination of the marginal fit of ceramic crowns using different measurement techniques. *J Oral Rehabil*. 2000;27(1):1–7.
20. Heintze SD. Systematic reviews on dental marginal adaptation methods. *Dent Mater*. 2010;26(1):1–16.
21. Van Meerbeek B, Vargas M, Inoue S, et al. Microscopy investigations of the resin–dentin interface. *J Dent Res*. 1993;72(6):889–98.
22. Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YTC, Mazzi-Chaves JF, et al. Evaluation of marginal adaptation of root-end filling materials using scanning electron microscopy. *Int Endod J*. 2014;47:1–9.
23. Oliveira MG, Xavier CB, Demarco FF, Pinheiro AL, Costa AT, Pozza DH. Comparative chemical study of MTA and Portland cements. *Braz Dent J*. 2007;18(1):3–7.

24. Bidar M, Moradi S, Jafarzadeh H, Bidad S. Comparative SEM study of the marginal adaptation of white and grey MTA and Portland cement. *Aust Endod J*. 2007;33(1):2–6.
25. Tanomaru-Filho M, Bosso R, Viapiana R, Guerreiro-Tanomaru JM. Physicochemical properties of calcium silicate-based endodontic materials. *Braz Dent J*. 2014;25(1):38–44.
26. Sarzeda CS, Silva EJNL, Faria G, Rached-Júnior FJA, De-Deus G. Chemical characterization of different mineral trioxide aggregate formulations. *Braz Dent J*. 2019;30(5):456–462.
27. Holland R, de Souza V, Nery MJ, Faraco IM Jr, Bernabé PF, Otoboni Filho JA. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide. *J Endod*. 1999;25(3):161–6.
28. Saidon J, He J, Zhu Q, Safavi K, Spångberg LSW. Cell and tissue reactions to mineral trioxide aggregate and Portland cement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003;95(4):483–9.
29. Camilleri J, Montesin FE, Di Silvio L, Pitt Ford TR. The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. *Int Endod J*. 2005;38(11):834–42.
30. Oliveira HF, Gonçalves JL, De-Deus G, Zaia AA. In vitro evaluation of the marginal adaptation of root-end filling materials. *Braz Oral Res*. 2013;27(5):397–403.
31. Oliveira IR, Pandolfelli VC, Jacobovitz M. Chemical, physical and mechanical properties of a novel calcium aluminate endodontic cement. *Int Endod J*. 2010;43(12):1069–76.
32. Dawood AE, Parashos P, Wong RHK, Reynolds EC, Manton DJ. Calcium silicate-based cements: composition, properties, and clinical applications. *J Investig Clin Dent*. 2017;8(2): e12195.
33. Camilleri J. Hydraulic calcium silicate cements: properties and applications. *J Endod*. 2015;41(4):501–12.
34. Sarzeda P, Schmitt GU, Tomazinho FSF, Scariot R, Pappen FG. Chemical characterization of white, gray and HP Repair mineral trioxide aggregate cements. *Microsc Res Tech*. 2020;83(6):647–53.

35. Tanomaru-Filho M, Torres FFE, Chávez-Andrade GM, de Almeida M, Navarro LG, Steier L, et al. Physicochemical properties and volumetric change of calcium silicate-based materials. *J Endod*. 2017;43(12):2097–101.
36. Oliveira NG, Gomes BPFA, Montagner F, Jacinto RC, Souza EM, Ferraz CCR. Physicochemical properties of calcium silicate-based endodontic materials. *J Endod*. 2018;44(3):397–403.
37. Siqueira JF Jr, Rôças IN, Silva MG, Santos KR. Chemical and structural similarities between mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endod*. 2017;43(4):654–60.
38. Holland R, Souza V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Bernabé PFE, Dezan Junior E. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tube filled with mineral trioxide aggregate, Portland cement or calcium hydroxide. *J Endod*. 2001;27(8):476–9.
39. Felman D, Parashos P. Coronal tooth discoloration and white mineral trioxide aggregate. *J Endod*. 2013;39(4):484–7.
40. Laurent P, Camps J, About I. Biodentine™ induces TGF-β1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization. *Int Endod J*. 2012;45(5):439–48.
41. Camilleri J, Laurent P, About I. Hydration of Biodentine, a tricalcium silicate-based material. *Dent Mater*. 2013;29(5):580–93.
42. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Characterization of set intermediate restorative material, Biodentine, Bioaggregate and a prototype calcium silicate cement for use as root-end filling materials. *Int Endod J*. 2013;46(7):632–41.
43. Koubi G, Colon P, Franquin JC, et al. Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth. *Clin Oral Investig*. 2013;17(1):243–9.
44. Camilleri J. Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *J Dent*. 2010;38(12):971–8.
45. Nowicka A, Lipski M, Parafiniuk M, et al. Response of human dental pulp capped with Biodentine and mineral trioxide aggregate. *J Endod*. 2013;39(6):743–7.

46. About I. Biodentine: from biochemical and bioactive properties to clinical applications. *G Ital Endod*. 2014;28(2):81–8.
47. Dawood AE, Parashos P, Wong RHK, Reynolds EC, Manton DJ. Calcium silicate-based cements: composition, properties, and clinical applications. *Dent Mater*. 2015;31(4):351–64.
48. Gomes ASL, Zezell DM, Mota CCBO, Girkin JM. Optical coherence tomography in dentistry. *J Biomed Opt*. 2013;18(6):061216.
49. Carr GB. Microscopes in endodontics. *J Calif Dent Assoc*. 1992;20(11):55–61.
50. Rubinstein RA, Kim S. Long-term follow-up of cases considered healed after apical surgery. *J Endod*. 2002;28(5):378–83.
51. Carvalho MC, Zuolo ML. Orifice locating with a microscope. *J Endod*. 2000;26(9):532–4.
52. Setzer FC, Kohli MR, Shah SB, Karabucak B, Kim S. Outcome of endodontic surgery: a meta-analysis of the literature—part 2: comparison of endodontic microsurgical techniques with and without the use of higher magnification. *J Endod*. 2012;38(1):1–10.
53. Otis LL, Everett MJ, Sathyam US, Colston BW Jr. Optical coherence tomography: a new imaging technology for dentistry. *J Am Dent Assoc*. 2000;131(4):511–4.
54. Colston BW Jr, Everett MJ, Sathyam US, Da Silva LB, Otis LL. Imaging of hard- and soft-tissue structure in the oral cavity by optical coherence tomography. *Appl Opt*. 1998;37(16):3582–5.
55. Jones RS, Darling CL, Featherstone JDB, Fried D. Imaging artificial caries on the occlusal surfaces with polarization-sensitive optical coherence tomography. *Caries Res*. 2006;40(2):81–9.
56. Mota CCBO, Gueiros LA, Maia AMA, et al. Optical coherence tomography as an auxiliary tool for the diagnosis of oral diseases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2015;120(4): e235–42.
57. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am*. 1974;18(2):269–96.

58. Estrela C, Bueno MR, Leles CR, Azevedo B, Azevedo JR. Accuracy of cone beam computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis. *J Endod*. 2008;34(3):273–9.
59. Siqueira JF Jr, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod*. 2008;34(11):1291–301.
60. Torabinejad M, Corr R, Handysides R, Shabahang S. Outcomes of nonsurgical retreatment and endodontic surgery: a systematic review. *J Endod*. 2009;35(7):930–7.
61. Ricucci D, Siqueira JF Jr. Failure of endodontic treatment: microbiological and pathological aspects. *Endod Topics*. 2008;19(1):1–24.
62. Silva EJNL, Accorsi-Mendonça T, Almeida JFA, Ferraz CCR, Gomes BPFA, Zaia AA. Evaluation of cytotoxicity and physicochemical properties of calcium silicate-based endodontic sealers. *Braz Dent J*. 2017;28(2):186–94.
63. Amoroso-Silva PA, Marciano MA, Guimarães BM, Duarte MAH. Apical adaptation, sealing ability and push-out bond strength of five root-end filling materials. *Braz Oral Res*. 2014; 28:1–8.
64. Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendry DJ, Abedi HR, Miller DA, Kariyawasam SP. Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endod*. 1997;23(4):225–8.
65. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod*. 1993;19(12):591–5.
66. De-Deus G, Reis C, Brandão C, Fidel S, Fidel RA. The ability of Portland cement, MTA, and MTA Bio to prevent leakage in repaired furcal perforations. *J Endod*. 2007;33(11):1374–7.
67. Bidar M, Disfani R, Gharagozloo S, Rouhani A, Forghani M. Effect of different root-end filling materials on marginal adaptation. *Int Endod J*. 2007;40(6):432–7.
68. Goldstein JI, Newbury DE, Joy DC, et al. *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*. 3rd ed. New York: Springer; 2003.
69. Camilleri J. Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *J Dent*. 2013; 41:600–610.

70. Schilke R, Lisson JA, Bauss O, Geurtsen W. Comparison of the number and diameter of dentinal tubules in human and bovine dentine. *Arch Oral Biol.* 2000; 45:355–361.
71. Reeves GW, Fitchie JG, Hembree JH, Puckett AD. Microleakage of new dentin bonding systems using human and bovine teeth. *Oper Dent.* 1995; 20:230–235.
72. Yassen GH, Platt JA. The use of bovine teeth as a substitute for human teeth in dental research: a review of literature. *J Oral Sci.* 2011;53:273–282.
73. Costa BM, Lima NL, Lima DM, et al. Bovine teeth as a substitute for human teeth in in vitro studies: a literature review. *J Clin Exp Dent.* 2019;11:e292–e300.