



UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS –

UniEVANGÉLICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

Alline Soares Vaz

**ANÁLISE DA ADAPTAÇÃO MARGINAL E DA REDUÇÃO DO ARTEFATO DE
CONTRASTE DE BRANCO EM IMAGENS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE
FEIXE CÔNICO DE DENTES COM MATERIAIS SELADORES DE PERFURÇÃO DA
REGIÃO DE FURCA**

ANÁPOLIS
2026

Alline Soares Vaz

**ANÁLISE DA ADAPTAÇÃO MARGINAL E DA REDUÇÃO DO ARTEFATO DE
CONTRASTE DE BRANCO EM IMAGENS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE
FEIXE CÔNICO DE DENTES COM MATERIAIS SELADORES DE PERFURÇÃO DA
REGIÃO DE FURCA**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Odontologia da
Universidade Evangélica de Goiás –
UniEVANGÉLICA para obtenção do Título
de Mestre em Odontologia na Área de
concentração: Clínica Odontológica.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Aguirre
Guedes

Anápolis
2026

V393

Vaz, Alline Soares.

Análise da adaptação marginal e da redução do artefato de contraste de branco em imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico de dentes com materiais seladores de perfuração da região de furca./ Aline Soares Vaz - Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás, 2026.

51 p.; il.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Aguirre Guedes

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

1. Materiais Dentários 2. Microscopia eletrônica de varredura 3. Silicato de cálcio. 4. Tomografia computadorizada de feixe cônico I. Guedes, Orlando Aguirre. II. Título.

CDU 616.314

Catálogo na Fonte
Elaborado por Hellen Lisboa de Souza CRB1/1570

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, **Zilda e Wilmar**, e a minha tia **Elza**
Que são meus maiores exemplos de vida. Transmitem amor incondicional, proteção,
resiliência e determinação.*

AGRADECIMENTO

Por várias vezes pensei como seria esse momento, e hoje escrevendo os agradecimentos, com muita alegria e sensação de dever cumprido, não poderia deixar de iniciar agradecendo primeiramente á Deus pela oportunidade de enriquecer meu conhecimento e por abrir as portas para que isso fosse real. Agradeço meus guias e mentores espirituais por toda sabedoria, paciência e resiliência nos momentos em que exigia mais do meu esforço pessoal e a nossa Senhora por toda proteção e amparo.

Agradeço aos meus pais e a minha tia Elza, que são os meus maiores incentivadores na busca incessante por conhecimento, a qual desde pequena sempre tive um apresso grande, e nunca mediram esforços para que se tornasse possível.

Á Karen por me apoiar e por significar tanto na minha vida, pelas trocas infinitas que temos e que por várias vezes foi meu alicerce e esteio. Em dias que tudo parecia pesar, ela trazia a calma.

Agradeço meus professores que nunca mediram esforços para sanar minhas dúvidas e sempre dispostos a entregar todo conhecimento disponível.

Em especial, agradeço meu orientador, Prof Dr. Orlando Aguirre Guedes, que sempre viu potencial em mim, até mesmo quando me sentia insegura e incapaz, agradeço por toda orientação nesses anos e por se disponibilizar na orientação, tenho a certeza de que não poderia ter sido outro orientador.

Ao meu co-orientador, Prof Dr Helder Fernandes de Oliveira, pela dedicada participação e contribuição, as quais foram fundamentais para o enriquecimento e desenvolvimento desse estudo.

Agradeço a mim por não ter desistido deste sonho, que germina em mim desde cedo, quando brincava de ser professora e ensinava meus primos mais novos nas lições de casa. Que essa vontade de passar conhecimento e moldar futuros colegas de profissão nunca se esfrie em meu coração, que a cada dia eu possa ser melhor e dar o meu melhor.

Aos meus amigos e todos que me acompanharam, o meu agradecimento com muito carinho pela motivação, pelo incentivo e pelo desejo de que o objetivo fosse alcançado com muita satisfação.

EPÍGRAFE

“Feliz aquele que transfere o que sabe
e aprende o que ensina.”
Cora Coralina

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	7
RESUMO/PALAVRAS-CHAVE	9
ABSTRACT/KEYWORDS	10
1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3 PROPOSIÇÃO	27
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
5 RESULTADOS	33
6 DISCUSSÃO	39
7 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Grau Celsius
et al	E outros/e colaboradores
DICOM	Formato de arquivo de imagens
Nº	Número
MTA	Agregado de trióxido mineral
TCFC	Tomografia computadorizada de feixe cônico
min	Minuto
h	Hora
mm	Milímetros
CP	Cimento Portland
Se	Selênio
n	Número de Dentes
FP	Perfuração de furca
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
IL-10	Interfator de leucina 10
RP	Radiografia periapical
BAR	Blooming artefact reduction
MAR	Metal Artefact Reduction
cm	Centímetro
G1	Grupo um
G2	Grupo dois
G3	Grupo três
G4	Grupo quatro
G5	Grupo cinco
G6	Grupo seis
G7	Grupo sete
G8	Grupo oito
endo	endodontia
3D	Tridimensional
ANOVA	Análise de variância
EDX	Espectroscopia de dispersão de raio-x
IRM	Intermediate Restorative Material

TNF-^α	Fatores de necrose tumoral
CT	Computer Tomography
CBCT	Cone Beam Computer Tomography
VRF	Fratura vertical radicular
FOV	Campo de visão
HR	High resolution
NR	Normal resolution
DLR	Cimento Portland
LabMic	Laboratório multiusuário de microscopia de alta resolução
UFG	Universidade Federal de Goiás
KV	quilovolt
mA	miliampere
Hz	Hertz
s	Segundos
B&C	Brilho e Contraste
CONEP	Comissão nacional de ética em pesquisa
CPqO	Comissão de pesquisa local
IL	Illinois
EPIs	Equipamento de proteção individual

RESUMO

As perfurações da região de furca constituem uma intercorrência relevante no tratamento endodôntico, podendo comprometer o prognóstico quando o selamento é inadequado. Este estudo teve como objetivo avaliar a adaptação marginal de diferentes materiais seladores utilizados em perfurações de furca, caracterizar quimicamente esses materiais e analisar a confiabilidade da tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) associada ao software e-Vol DX na redução de artefatos e mensuração dimensional. Foram utilizadas perfurações padronizadas em molares humanos, seladas com sete materiais experimentais. A adaptação marginal foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura, utilizando escores de 0 a 4. Observou-se predominância do escore 0 (41,4% das observações), seguida pelos escores 3 (18,6%), 1 e 2 (17,1% cada) e 4 (5,7%). A análise estatística demonstrou diferença significativa apenas entre o Cimento PBS White e o Biodentine ($p = 0,022$), não havendo diferenças estatisticamente significativas entre os demais materiais ($p > 0,05$). A caracterização química por EDX evidenciou variações na composição elementar, com predominância de cálcio e silício nos materiais à base de silicato de cálcio e presença de agentes radiopacificadores como bismuto ou zircônio, sem correlação direta com a adaptação marginal. Na análise da redução de artefatos, as medidas realizadas por paquímetro digital e pelo e-Vol DX apresentaram distribuição não normal (Shapiro–Wilk, $p < 0,05$) e elevada concordância, sem diferença estatisticamente significativa nos eixos méso-distal ($p = 0,112$) e vestibulo-lingual ($p = 0,167$). Conclui-se que os materiais avaliados apresentaram desempenho semelhante quanto à adaptação marginal e que a TCFC associada ao software e-Vol DX constitui um método confiável para a avaliação dimensional de perfurações seladas, mesmo na presença de artefatos tomográficos.

PALAVRAS-CHAVE: Materiais dentários, Microscopia eletrônica de varredura, Silicato de cálcio, Tomografia computadorizada de feixe cônico.

ABSTRACT

Furcation perforations represent a relevant complication in endodontic treatment and may negatively affect tooth prognosis when sealing is inadequate. This study aimed to evaluate the marginal adaptation of different sealing materials used in furcation perforations, to chemically characterize these materials, and to analyze the reliability of cone-beam computed tomography (CBCT) associated with the e-Vol DX software for artifact reduction and dimensional measurement. Standardized furcation perforations were created in human molars and sealed with seven experimental materials. Marginal adaptation was assessed by scanning electron microscopy using a 0–4 scoring system. A predominance of score 0 was observed (41.4%), followed by scores 3 (18.6%), 1 and 2 (17.1% each), and 4 (5.7%). Statistical analysis revealed a significant difference only between PBS White Cement and Biodentine ($p = 0.022$), while no significant differences were found among the other materials ($p > 0.05$). Energy-dispersive X-ray spectroscopy showed compositional differences among materials, with calcium and silicon predominance in calcium silicate-based cements and radiopacifiers such as bismuth or zirconium, without a direct association with marginal adaptation. Artifact reduction analysis demonstrated non-normal data distribution (Shapiro–Wilk, $p < 0.05$) and high agreement between digital caliper and e-Vol DX measurements, with no significant differences in the mesiodistal ($p = 0.112$) or buccolingual ($p = 0.167$) directions. It can be concluded that the evaluated materials exhibited comparable marginal adaptation and that CBCT associated with the e-Vol DX software is a reliable tool for dimensional assessment of sealed furcation perforations, even in the presence of imaging artifacts.

KEYWORDS: Dental materials, scanning electron microscopy, calcium silicate, cone-beam computed tomography

1. INTRODUÇÃO

Durante as diferentes fases do tratamento endodôntico, diversos acidentes podem ocorrer, sendo a maioria de natureza iatrogênica. Entre os principais, destacam-se a perfuração dentária, a fratura de brocas Gates-Glidden, a fratura de instrumentos endodônticos, a extrusão de hipoclorito de sódio (NaOCl), o extravasamento de material obturador e a ocorrência de parestesia (Lima et al., 2023). Nesse contexto, o conhecimento aprofundado da anatomia dentária, aliado à compreensão dos fatores relacionados aos instrumentos, às técnicas e ao manejo clínico, contribui para a otimização dos procedimentos e para a redução da probabilidade de acidentes operacionais decorrentes de sua utilização (Lima et al., 2022).

Diversos fatores podem predispor à ocorrência de acidentes ou erros processuais durante o tratamento endodôntico. A presença de pólipos pulpares, calcificações, dentes com inclinação ou rotação inadequadas no arco, cáries extensas, reabsorções internas radiculares, identificação incorreta do canal radicular, além de restaurações extracoronárias ou pinos intrarradiculares, pode dificultar o acesso ao sistema de canais radiculares, aumentando o risco de perfurações radiculares ou da região de furca (Estrela et al., 2018).

De acordo com Arens e Torabinejad (1996) e Caputo et al. (2014), acidentes como as perfurações radiculares durante o preparo do acesso e a instrumentação do canal não são incomuns. Lima et al. (2022) demonstraram que as perfurações dentárias (31 casos) e as perfurações da região de furca (23 casos) foram os acidentes mais frequentemente observados, totalizando 53 casos, o que correspondeu a 76,1% dos acidentes identificados no estudo. Além disso, esse tipo de acidente é apontado como um dos que mais geram receio entre os profissionais, reforçando a relevância do conhecimento detalhado das variações anatômicas dos elementos dentários.

A perfuração radicular é definida como uma comunicação artificial, de origem iatrogênica ou patológica, que estabelece contato entre a cavidade pulpar e os tecidos periodontais (Fuss & Trope, 1996; Tsesis & Fuss, 2006). Trata-se de uma complicação séria na prática odontológica

que, quando não diagnosticada e tratada de forma adequada, pode resultar na perda do elemento dentário (Clauder & Shin, 2009).

O diagnóstico clínico das perfurações pode ser realizado pela observação de sangramento súbito e intenso no interior do canal radicular após a remoção do tecido pulpar, associado à exploração clínica e à radiografia periapical, que pode evidenciar a comunicação com o periodonto (Lee *et al.*, 1993; Tsesis & Fuss, 2006). Do ponto de vista imaginológico, nas radiografias periapicais (RP), a presença de uma radiolucência associada à comunicação entre as paredes do canal radicular e o espaço periodontal constitui um importante indicativo desse acidente (Estrela *et al.*, 2018). Entretanto, Salineiro *et al.* (2016) observaram que a RP apresenta sensibilidade limitada, especialmente na detecção de reabsorções, sugerindo que métodos de imagem tridimensionais, como a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), podem ser mais indicados em casos suspeitos de insucesso no tratamento de perfurações na região de furca.

A incorporação da tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) à prática endodôntica introduziu novos parâmetros para o diagnóstico e o prognóstico de condições patológicas e iatrogênicas (Shemesh *et al.*, 2010). Em situações nas quais alterações patológicas não são detectadas por sinais ou sintomas clínicos, e quando a radiografia periapical não fornece informações suficientes para evidenciar a presença de doença, a TCFC deve ser considerada para a identificação de lesões periapicais ou perfurações radiculares (Lerner *et al.*, 2025). Além disso, as imagens tridimensionais fornecidas pela TCFC tendem a ser mais facilmente compreendidas pelos pacientes, favorecendo a visualização da estrutura oral e a compreensão do diagnóstico e das possíveis opções de tratamento (Wanderley *et al.*, 2022).

Entretanto, as imagens obtidas por TCFC podem ser afetadas por materiais com elevado número atômico, os quais geram artefatos que comprometem a qualidade da imagem e limitam sua interpretação diagnóstica (Decurcio *et al.*, 2012). Materiais obturadores de alta densidade são reconhecidos por promoverem artefatos como distorção volumétrica, estrias e faixas escuras nas imagens tomográficas (Decurcio *et al.*, 2012;

Vasconcelos et al., 2015). Estudos prévios demonstraram que os artefatos causados por cimentos obturadores e cones de guta-percha aumentam a dificuldade de interpretação das imagens, podendo mimetizar alterações ou reduzir a detecção de defeitos estruturais quando presentes (Schulze et al., 2011; Bueno et al., 2011; Bueno *et al.*, 2018; Vasconcelos et al., 2015; Celikten et al., 2017, 2019; Estrela *et al.*, 2020).

Diante dessa limitação, a correção dos artefatos decorrentes do endurecimento do feixe (beam hardening) tem sido alvo de diversos estudos (Rao & Alfidi, 1981; Loubele *et al.*, 2009; Ramakrishna *et al.*, 2006). A utilização de filtros específicos durante a aquisição e reconstrução das imagens contribui para a mitigação desses efeitos, resultando em imagens mais precisas para fins diagnósticos (Scarpato *et al.*, 2020). Além disso, a calibração adequada dos equipamentos, o correto posicionamento do paciente e a estabilidade durante o exame são fatores essenciais para a redução de artefatos, incluindo aqueles relacionados ao movimento e à formação de artefatos em anel (Santos *et al.*, 2021). Parâmetros como a adoção de campos de visão (Field of View – FOV) reduzidos, voxels menores, maiores valores de quilovoltagem (kVp), menor tempo de exposição, baixa miliamperagem (mA) e o uso de algoritmos específicos têm contribuído para minimizar a ocorrência de artefatos, embora estes ainda não tenham sido completamente eliminados das imagens de TCFC (Cotton *et al.*, 2007; Estrela *et al.*, 2018, 2020).

Nesse contexto, Bueno *et al.* (2018) desenvolveram o software de TCFC e-Vol DX, que incorpora recursos capazes de fornecer imagens de elevada qualidade por meio da redução do artefato de branco. Entre esses recursos destacam-se ajustes personalizados de brilho e contraste conforme a tarefa diagnóstica, controle da espessura de imagem, filtros de nitidez e de redução de ruído proprietários, além da capacidade de reconhecimento automático de dados provenientes de diferentes scanners de TCFC, aplicando parâmetros específicos para cada equipamento. Essas ferramentas, associadas a filtros de renderização tridimensional especialmente desenvolvidos, contribuem para a redução de artefatos que podem comprometer o estabelecimento de diagnósticos precisos (Bueno

et al., 2018; Estrela *et al.*, 2020; Bueno *et al.*, 2021; Young *et al.*, 2021; Rabelo *et al.*, 2021).

O software e-Vol DX utiliza, ainda, o filtro Blooming Artifact Reduction (BAR), o qual tem demonstrado eficácia na melhoria da qualidade das imagens em casos de fraturas radiculares e perfurações (Bueno *et al.*, 2018; Garcia *et al.*, 2022; Estrela *et al.*, 2025). Estudos recentes evidenciaram que o filtro BAR é efetivo na redução de artefatos em imagens de TCFC contendo materiais obturadores nos canais radiculares, favorecendo a interpretação diagnóstica (Estrela *et al.*, 2025).

Existe consenso de que o sucesso no tratamento das perfurações radiculares depende de diversos fatores, incluindo a localização, o tamanho e as características da perfuração, o comprimento radicular, o grau de contaminação, a técnica de selamento, o tempo decorrido entre a ocorrência da perfuração e o tratamento, bem como a biocompatibilidade do material empregado (Fuss & Trope, 1996).

Na busca por um material selador ideal, o Agregado Trióxido Mineral (MTA) foi proposto em 1993 (Lee *et al.*, 1993; Wucherpfennig & Green, 1999). Inicialmente desenvolvido como material retro-obturador para cirurgias parendodônticas, o MTA passou a ser amplamente utilizado em casos de perfurações intrarradiculares, de furca e associadas a reabsorções internas e externas, bem como no tratamento conservador da polpa dentária e como material indutor de apicificação (Bernabé *et al.*, 2005; Camilleri & Pitt Ford, 2006; Clauser & Shin, 2009).

Diversos estudos avaliaram a biocompatibilidade, citotoxicidade, mutagenicidade, atividade antifúngica, ação antimicrobiana e as propriedades físico-químicas do MTA (Lee *et al.*, 1993; Bernabé *et al.*, 2005; Camilleri *et al.*, 2005; Clauser & Shin, 2009). Contudo, o MTA apresenta algumas limitações clínicas, como o longo tempo de presa, considerado um dos mais extensos entre os materiais retro-obturadores, além do elevado custo e da baixa adesividade à dentina (Camilleri *et al.*, 2005; Tsesis & Fuss, 2006; Clauser & Shin, 2009).

O cimento Portland (CP), amplamente utilizado na construção civil, constitui o principal componente do MTA (Wucherpfennig & Green, 1999). A partir da constatação da similaridade entre suas composições, estudos

demonstraram semelhanças nas propriedades físico-químicas e biológicas entre o MTA e o CP, indicando o potencial deste último para uso como material endodôntico (Camilleri *et al.*, 2005; Camilleri & Pitt Ford, 2006).

O sucesso clínico dos materiais seladores está diretamente relacionado à sua atividade antimicrobiana e à capacidade de promover reparo tecidual, propriedades associadas, em grande parte, à liberação de íons cálcio e hidroxila provenientes do hidróxido de cálcio presente em sua composição (Estrela *et al.*, 1995; Camilleri, 2008). O material selador ideal para o tratamento de perfurações radiculares deve apresentar adesividade às paredes dentinárias, biocompatibilidade com os tecidos periapicais, não ser reabsorvível, possuir fácil manipulação, radiopacidade adequada e favorecer um ambiente propício à regeneração tecidual (Azevedo *et al.*, 2008; Bernabé *et al.*, 2009; Nair *et al.*, 2009).

Considerando a importância dos materiais seladores no sucesso do tratamento de perfurações radiculares e o conhecimento de que tais materiais podem gerar artefatos em imagens de TCFC em função de sua densidade, torna-se necessária a realização de pesquisas voltadas à análise dos materiais utilizados no tratamento de perfurações da região de furca. Nesse sentido, justifica-se a avaliação da adaptação marginal desses materiais e da redução do artefato de contraste do branco em imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico, com o objetivo de contribuir para a seleção adequada do material selador e para a melhoria do prognóstico dos dentes submetidos a esse tipo de intercorrência.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Dentre as várias pesquisas realizadas com esta temática, foram empregadas na revisão da literatura aquelas que buscaram discutir o problema proposto.

Na tentativa de trazer melhorias para materiais seladores de furca, Hashem e Hassanien (2008), utilizaram matrizes internas nos defeitos na região de furca para obter resultados melhores. Eles utilizaram 80 primeiros molares inferiores para testar dois materiais, MTA e IRM sendo ainda divididos em 2 subgrupos, com e sem matriz interna. Para verificar se houve falhas nesses materiais, vazamento de corante foi testado a partir de uma direção ortógada e a extração do corante foi realizada usando ácido nítrico em concentração total. Ao final do estudo conclui-se que a matriz controla a umidade, o que levará a mais adaptação, resultado em melhor vedação.

Decurcio et al., (2012) apresentaram resultados onde nas imagens de TCFC o tamanho real das PERFURACOES TEVE alterações da verdadeira dimensão do preenchimento do canal radicular, comparando com as medidas reais dos espécimes através de um paquímetro digital tiveram uma diferença estatística, principalmente quando foi utilizado apenas o selador, sem o cone guta-percha. Já o envolvimento de furca é definido como “reabsorção óssea patológica dentro de uma furca”, e é o resultado de uma progressão da doença periodontal para a área inter-radicular dos dentes molares. Sabendo disso, Salineiro et al., (2017) utilizaram segundos molares de 10 mandíbulas de porcos para avaliar e comparar a acurácia, sensibilidade e especificidade do diagnóstico de envolvimento incipiente de furca com radiografia periapical (RP) e TCFC e ainda testaram a interferência metálica nos resultados dos exames das imagens. Usaram radiografias periapicais e 2 diferentes protocolos de imagem de TCFC foram realizadas com e sem pinos metálicos. Com base nos resultados, a TCFC foi considerada uma ferramenta confiável para detectar envolvimento incipiente de furca após um exame clínico periodontal, mesmo na presença de pino metálico em posição.

TCFC tem sido um método confiável para detecção de VRF também. No entanto a presença de metal nos pinos intracanal e guta-percha podem

interferir na capacidade de diagnóstico das imagens e diminuir a sensibilidade, especificidade e precisão na detecção de VRF, Kajan *et al.*, (2017)., As imagens dentárias de TCFC sofrem de graves artefatos metálicos. Esses artefatos degradam a qualidade da imagem adquirida e, em alguns casos, tornam-na inadequada para uso. Artefatos e cáries ao redor dos dentes são o principal motivo da degradação. Johari *et al.*, (2018).

Nikibin *et al.*, (2018) além de testarem um algoritmo para redução do artefato metálico (MAR) avaliaram se a posição em que se obtém o exame TCFC influencia no diagnóstico de fraturas verticais radiculares. Realizaram um estudo *in vitro* com 60 pré-molares humanos, 30 desses foram tratados endodonticamente e em seguida induzidos a fraturas, os dentes foram então divididos em 4 grupos, sendo que 2 grupos receberam pinos metálicos e os 2 restantes tendo apenas um espaço vazio do pino. A maior frequência de diagnósticos corretos de fraturas foi obtida com o objetivo posicionado centralmente ao FOV e usando o algoritmo MAR.

Mais um teste comprobatório foi o estudo *in vitro* de Tofangchiha *et al.*, (2018) que mostraram que a partir dos cimentos avaliados, todos induziram artefatos nas imagens de TCFC. Foi testado três diferentes cimentos, AH-26, Diadent e Anyseal, em 44 dentes unirradiculares, divididos em quatro grupos iguais, sendo um desses 4, o grupo controle. Para obtenção dos resultados foram utilizados dois testes, teste exato de Fisher e teste McNemar, e confirmaram que o cimento Anyseal apresentou o menor artefato em ambos os tamanhos de voxel avaliados, porém não deixou de induzir artefatos no resultado.

A busca por novas técnicas e métodos para redução do artefato é grande, outro estudo apresentou como técnica solicitar ao paciente a estufar as bochechas/lábios durante a rotação do tubo de raio-x em dentes anteriores, em exames de TCFC. Safi *et al.* (2019).

A literatura é conflitante quanto à sensibilidade e especificidade das imagens de TCFC para realização de tarefas endodônticas (como detecção de fraturas radiculares e canais extras). A seleção de protocolos de alta resolução em dispositivos TCFC com pequeno campo de visão (FOV) e tamanhos de voxel tem sido fortemente recomendado para visualizar particularidades do sistema de canais radiculares e do periodonto. Por isso,

Pinto et al., (2023) tiveram como objetivo avaliar protocolos de exposição de TCFC e dispositivos TCFC em termos de qualidade de imagem para detecção de fissuras e estruturas endodônticas final utilizando 3 condições de artefatos. (1) livre de metal, (2) endo e (3) implante, com os objetos metálicos colocados próximos aos dentes de interesse. Através do estudo entendeu-se que artefatos metálicos, para detecção de fissuras torna-se improvável. Mas que no geral, protocolos de FOV pequenos de alta resolução podem permitir a detecção de estruturas endodônticas finas, desde que não haja objetos de alta densidade na região de interesse.

Através das pesquisas relacionadas ao material selador Biodentine constatou-se que fornece boa compatibilidade, bioatividade, alta resistência à compressão e um curto tempo de presa de 12 min. Com isso, a pesquisa de Cardoso et al., (2018) teve como objetivo comparar respostas histopatológicas, resultados radiográficos e tomográficos micro computadorizados (micro-CT) após reparo de FP com biodentine ou ProRoot MTA (MTA) em dentes de cães, tendo como resultado, menos inflamação, menor volume de material extrusado e maior reparo cimentício no grupo testado o Biodentine, comparado ao grupo MTA.

MTA apresenta excelentes propriedades para tratamento de perfurações no canal radicular, mesmo com suas limitações. Mas para que houvesse um desempenho melhor nos resultados esperados Espaladori et al., (2018) suplementaram o MTA com Selênio, já que baixa ingestão de Selênio se correlaciona com um alto risco de doenças ósseas. E dentro de 21 dias a selagem com MTA+Se. favoreceu expressão aumentada de IL-10 e TNF- α em momentos posteriores.

Materiais de preenchimento tem uma certa densidade que pode causar artefatos de imagem, como: distorção volumétrica, listras dispersas e partes escuras, o que pode resultar em diagnóstico incorreto ou falso-positivo nas radiografias, Celikten et al., (2019) desenvolveram um estudo para avaliar artefatos de contraste de branco causados por cimentos radiculares em imagens de TCFC em comparação com aqueles que aparecem em imagens de micro-TC de escaneamento foram usadas como referências. Micro-TC é considerada padrão ouro. Foram utilizados trinta incisivos centrais inferiores humanos divididos em três grupos com 10

raízes cada. (I) Cimento AH Plus; (II) Sure Seal Root; e (III) Total BC Seal. Os dentes foram escaneados com mesmo tamanho de voxel (0,2mm) em diferentes aparelhos de TCFC e as imagens de micro-TC foram adquiridas como imagens de referência. Obtiveram resultados significativamente diferentes em termos de artefatos de contraste de branco que foram detectados entre imagens de TCFC e de micro-TC. Os canais preenchidos com o cimento AH Plus apresentaram mais artefatos do que aqueles preenchidos com selantes biocerâmicos, além disso o pior artefato de contraste de branco foi observado quando as imagens foram adquiridas com menor pico de quilovoltagem. O aparecimento de artefatos depende do cimento e da TCFC, e seus efeitos são significativamente piores em relação as imagens de micro-TC.

Uma limitação relevante desta modalidade de imagem é a presença de artefato de imagem, que é um desvio entre a imagem reconstruída e o conteúdo real do objeto estudado. Candemil *et al.*, (2018) avaliaram a eficácia da redução de artefatos metálicos (MAR) em artefatos de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) decorrentes de objetos metálicos no exoma. Uma radiografia de um fantoma composta por 16 tubos de polipropileno preenchidos com solução radiopaca homogênea foi criado. O fantoma foi centrado em um campo de visão (FOV) de 5x5 cm com inserções de titânio e CoCr no exoma. Todas as varreduras foram repetidas após a avaliação do MAR. Ao final constatou-se que o MAR não foi eficaz para corrigir artefatos de TCFC decorrentes de objetos metálicos no exoma nas duas unidades de TCFC quando usado.

Materiais com densidade alta podem comprometer o radiodiagnóstico, seja um pino metálico ou até mesmo um selador de furca. Estrela *et al.*, (2020) utilizaram um filtro nos resultados dos exames de TCFC para avaliar se seria possível eliminar artefatos de contraste de branco. Utilizaram 63 dentes unirradiculares humanos extraídos para o estudo, os espécimes foram preparados para receberem diferentes pinos intrarradiculares. A digitalização dos dentes foi obtida usando um scanner Prexion 3D Elite®. Os pinos foram medidos em exames de TCFC usando arquivos DICOM e o software e-Vol DX. Um filtro específico, Blooming Artefact Reduction (BAR), foi desenvolvido para analisar pinos

intrarradiculares. A partir do estudo, constatou-se que o filtro BAR eliminou artefatos de contraste de branco, o que auxilia muito na acurácia dos resultados.

Recentes inovações científicas levaram a melhores taxas de sobrevivência dos dentes e maior previsibilidade do prognóstico do tratamento de canal. A incorporação do feixe cônico CT (CBCT) para procedimentos em ampliação clínica endodôntica trouxeram precisão ao diagnóstico e planejamento, bem como maior segurança para a tomada de decisão clínica e aumento de expectativas positivas de sucesso terapêuticos. Estrela *et al.*, (2020).

Seguindo a linha de pesquisa de utilizar um material a base de silicato de cálcio como material selador, dessa vez Alazrag e colaboradores (2020) utilizaram o TheraCal LC como material de estudo comparativo entre o MTA-Angelus e Biodentine, buscando inovações na introdução de novos materiais de reparo endodôntico que pudessem superar as deficiências dos materiais disponíveis. Entretanto, após três meses o TheraCal LC apresentou o maior índice inflamatório de resposta e distribuição de frequência mais alta de radiolucência que foi seguida pelo Biodentine e depois pelo MTA-Angelus. Em contrapartida, Koç *et al.* (2021) demonstraram que os materiais a base de silicato de cálcio utilizados nos estudos apresentaram desempenho no reparo de perfurações de furca em intervalos de 24 e 72 horas.

Makhlouf *et al.*, (2020) avaliaram a qualidade de vedação do MTA Angelus e Biodentine (cimento a base de silicato de cálcio) como materiais de reparo de perfurações de furca (estudo laboratorial de comparação). Realizaram perfurações em 20 primeiros molares inferiores na região de furca. Os dentes foram divididos aleatoriamente em dois grupos, dois molares adicionais serviram como controladores negativos. Os defeitos foram então preenchidos com agregado trióxido mineral (MTA) Angelus no primeiro grupo e Biodentine no segundo grupo. Eles utilizaram a técnica de penetração do corante azul de metileno (fixados por 72h) para verificar o vazamento nos locais reparados para que fosse certificado a qualidade de vedação. É importante que haja essa vedação à resistência ao vazamento para favorecer o resultado do tratamento endodôntico de um dente que de

outra forma poderia ser condenado à extração. A partir desse estudo, eles tiveram como resultado nas primeiras 72 horas uma diferença significativa entre os grupos. MTA Angelus teve uma penetração maior em relação ao Biodentine. Por fim, Biodentine teve uma maior qualidade do selamento, porém, ambos os materiais precisam de melhorias para obter-se um selamento com alta qualidade.

O reparo tardio da perfuração de furca mostrou contagem de células inflamatórias significativamente maiores do que o reparo imediato no estudo de Okasha et al., (2022), onde eles utilizaram um total de 162 dentes pré-molares maduros de 12 cães, divididos em reparação imediata e reparação tardia.

Atualmente existem muitos dispositivos de TCFC no mercado que oferecem diversos protocolos com exposições variadas e/ou parâmetros de reconstrução. Estudos anteriores indicaram que os artefatos, incluindo o artefato do tipo fluorescentes, podem ser parcialmente afetados por diferentes protocolos de digitalização. Foram avaliados objetivamente a alteração dimensional (artefato fluorescente) em implantes dentários usando 13 dispositivos de tomografia, ajustados para digitalização específica do dispositivo de protocolos e avaliar se o ajuste subjetivo de brilho e contraste (B&C) poderia alterar sua visualização por Wanderley *et al.* (2022). Como resultado obtiveram a visualização da alteração dimensional do implante diferiu entre os aparelhos de TCFC e de protocolos de escaneamento com aumento de diâmetro variado de 0,27 a 1,04mm. Para a maioria dos dispositivos TCFC, os ajustes B&C permitiram reduzir a visualização do florescimento do implante.

Sabendo das limitações que o MAR tem enquanto algoritmo para redução do artefato gerado por materiais com densidade alta, Sakai *et al.*, (2021) escanearam usando modos de resolução super alta (HR) e resolução normal (NR). As imagens foram reconstruídas com reconstrução baseada em aprendizagem profunda (DLR) e reconstrução interativa híbrida (HIR) usando o algoritmo MAR. O resultado foi que a combinação do modo HR e DLR em scanner UHRCT melhorou o impacto do algoritmo MAR na cavidade oral.

No estudo de Rabelo et al., (2021) que também utilizaram o filtro BAR nas imagens adquiridas por TCFC, avaliaram a eficácia do Prexion3D ® e o software e-Vol DX ® na redução de artefatos de contraste de branco quando usados com os scanners Prexion 3D Elite e Carestream 9000C para examinar dentes com pinos intracanaís. Houve diferença significativas nos diâmetros dos pinos determinados usando o sistema de análise de imagens Prexion 3D quando comparado com e-Vol DX. Mas como resultado notaram que, o uso do filtro e-Vol DX BAR eliminou artefatos de contraste de branco. O que auxilia muito no diagnóstico real.

Outro método utilizado para avaliações de estudos é a microscopia eletrônica de varredura (MEV) Hassan & Abdelrahman (2021) utilizaram para testar a penetração de seladores nos túbulos dentinários, examinada a 1000x com um microscópio eletrônico de varredura, eles compararam a capacidade de vedação de dois tipos de selantes de canal radicular à base de biocerâmica de silicato de cálcio disponíveis comercialmente e um selante de canal radicular à base de resina. Vinte e um dentes de raiz única foram usados, amostras (n= 21) foram divididas aleatoriamente em três grupos de acordo com o selante usado (grupo A; ADSEAL, grupo B; Wellroot, grupo C; Ceraseal). As raízes foram então clivadas longitudinalmente na direção labiolingual; todas as amostras foram então seccionadas a três, seis e nove mm da ponta da raiz. E constataram que ambos os seladores à base de silicato de cálcio tinham melhor capacidade de vedação e maior resistência de ligação do que o selador à base de resina epóxi.

Apesar da eficácia do MAR em melhorar objetivamente a qualidade da imagem, há controvérsia em relação a sua eficácia no diagnóstico, uma vez que seu uso demonstrou pouco ou nenhum efeito no diagnóstico de várias condições clínicas, por exemplo: defeitos periodontais, ferramentas endodônticas fraturadas e fraturas radiculares. De acordo com a literatura os estudos com MAR foram realizados em fantasmas acrílicos ou em regiões diferentes de dentes. Tais correspondem a um efeito positivo na qualidade objetiva da imagem, mas não no diagnóstico. Farias-Gomes et al., (2022).

Dogenski LC (2022) avaliou se os artefatos brancos presentes em imagens de TCFC afetam a qualidade da imagem da obturação radicular

de dentes tratados endodonticamente. Vinte pré-molares uniradiculares extraídos de humanos tiveram seus canais radiculares preparados com o auxílio de instrumentos mecanizados. As amostras foram aleatoriamente distribuídas em dois grupos (before single cone ou BSC e before lateral condensation ou BLC), e cada uma delas foi submetida à primeira obtenção de imagens de TCFC e microtomografia (Micro-CT). Depois deste processo, os dentes foram preenchidos de acordo com o grupo ao qual foram distribuídos, sendo: SC - cone único sem cimento endodôntico; e LC - condensação lateral sem cimento endodôntico. Após o preenchimento, novas imagens de TCFC e Micro-CT foram obtidas de cada amostra. Na sequência, o preenchimento radicular foi removido das amostras, que receberam novos preenchimentos compatíveis ao grupo ao qual pertenciam, agora com a utilização de cimento endodôntico, sendo: SCS - cone único com cimento endodôntico; e LCS - condensação lateral com cimento endodôntico. Após este processo, novas imagens de TCFC e Micro-CT foram obtidas de cada amostra. Foram feitas comparações visuais e medições quantitativas dos modelos 3D reconstruídos a partir das imagens de TCFC e Micro-CT, e a quantidade de material obturador foi calculada como uma porcentagem do volume total do preenchimento radicular de cada amostra. As diferentes técnicas de obturação utilizadas no estudo não tiveram influência na quantidade de artefatos brancos nas imagens de TCFC, estes estando mais relacionados à presença de cimento endodôntico no preenchimento radicular.

Toia et al., (2022) avaliaram volumetricamente lacunas e vazios de materiais à base de silicato de cálcio de diferentes gerações e propriedades de manuseio (BC—Endosequence BC RRM-Fast Set Condensable Putty, MTA—ProRoot MTA e BIO—Biodentine) em perfurações furcais simuladas em uma configuração ex vivo por análise de tomografia microcomputada (Micro-CT). Trinta e seis molares mandibulares humanos extraídos com áreas de bifurcação foram selecionados. Perfurações padronizadas foram criadas na área de bifurcação da câmara de polpa usando as brocas diamantadas #4. Os espécimes foram aleatoriamente atribuídos a três grupos (BC, MTA e BIO; n = 12). As amostras foram então digitalizadas (SkyScan 1172; Bruker-microCT, Kontich, Bélgica) e imagens

tridimensionais (3D) foram reconstruídas. O volume relativo de lacunas (VG%) e vazios (VV%) presentes em cada material foi calculado. A média de VG% para os grupos BC, MTA e BIO foi, respectivamente, de 0,513%, 1,128%, 1,460%, com o BC apresentando estatisticamente ($p < 0,05$) menos formação de lacunas do que os outros grupos. A média de VV% foi, respectivamente, 0,018%, 0,037% e 0,065%. Não houve diferença estatística em relação ao VV%. Não havia amostras sem lacunas e sem vazio. O grupo BC teve o menor VG% entre os grupos com uma diferença estatística significativa ($p < 0,05$).

O tratamento mais eficiente para resolução de perfuração da região de furca consiste em realizar o vedamento da comunicação existente. Materiais como o MTA são altamente eficazes, com altos índices de sucesso. O prognóstico depende de vários fatores, que incluem: rapidez no vedamento, localização exata, extensão da perfuração e a presença de infecção local. Quanto mais próxima a perfuração estiver da junção cimento-esmalte, pior será o prognóstico, sabendo disso Andrade *et al.*, (2023) realizaram uma revisão de literatura por meio de artigos científicos nacionais publicados entre 2017 a 2022. E concluíram que a perfuração radicular é caracterizada por uma comunicação, iatrogênica ou patológica, entre o sistema de canais radiculares (SCR) e a superfície externa do dente, e pode comprometer o resultado do tratamento endodôntico, em suma a perfuração de furca é uma complicação indesejada que pode ocorrer durante procedimentos odontológicos. O prognóstico e tratamento dessa condição dependem de alguns fatores primordiais como vedamento otimizado, controle da infecção e estimulação da regeneração do tecido periodontal que são fundamentais para obter um resultado satisfatório.

Borges *et al.*, (2023) avaliaram o efeito dos materiais seladores de perfurações radiculares (Biodentine, MTA Proroot, MTA flow e Amálgama) na alteração da dimensão de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), usando o algoritmo Blooming Artefact Reduction. Foram selecionados 105 primeiros e segundos molares inferiores humanos extraídos, os quais foram preparados e obturados. Foram divididos em 5 grupos, sendo um o grupo controle. Decorrido o tempo de presa, os espécimes foram posicionados e, as coroas foram seccionadas para a

mensuração dos diâmetros reais dos materiais seladores nas perfurações, por meio do micrômetro digital. Posteriormente, as imagens de TCFC foram adquiridas usando o tomógrafo Prexion 3D Elite®. Para a mensuração dos volumes dos materiais nas imagens de TCFC utilizou-se o arquivo DICOM e a ferramenta de medida do software e-Vol DX de TCFC, configurada para medidas milésimas. O algoritmo Blooming Artefact Reduction - BAR 3 - foi utilizado para avaliação do grupo controle e para os materiais seladores: Biodentine e MTA flow. Já para o MTA Proroot e Amálgama foram utilizados os algoritmos BAR 2 e BAR 1, respectivamente. Os resultados evidenciaram que as medidas dos diâmetros dos materiais seladores (Biodentine, MTA Proroot, MTA flow e amálgama) usando o algoritmo para a redução de artefatos no software e-Vol DX e o micrômetro não houve diferença significativas entre si ($p>0,05$). A aplicação do algoritmo BAR do software e-Vol DX não produziu alteração dimensional nas imagens de TCFC com o uso dos diferentes materiais seladores estudados.

Outro estudo com avaliação microscópica da capacidade de selagem de materiais seladores à base de silicato de cálcio foi de Huth *et al.*, (2024) avaliaram a capacidade de vedação e o microvazamento de seladores à base de silicato de cálcio em comparação com um selante à base de resina epóxi. Cento e vinte e cinco raízes de dentes anteriores foram preparadas quimiomecanicamente e divididas em quatro grupos: AH Plus (AH), ProRoot MTA (PR), Medcem MTA (MC) e Total Fill BC Sealer/guta-percha revestida por BC (TF); $n = 30$. A microscopia de varredura a laser confocal foi usada para medir a penetração do selante em três níveis horizontais em 10 raízes por grupo, enquanto o vazamento de glicose ao longo de 30 dias foi avaliado em 20 raízes. O vazamento de glicose aumentou ao longo do tempo em todos os grupos, com a TF mostrando a maior permeabilidade após 30 dias. No geral, os seladores à base de silicato de cálcio PR, MC e TF tiveram um desempenho semelhante ao padrão de resina epóxi AH, com todos os grupos exibindo diminuição da penetração do coronal para o apical e aumento do vazamento ao longo do tempo.

Lerner *et al.*, (2025) descreveram um caso clínico de perfuração radicular em incisivo superior, ressaltando a importância da tomografia

computadorizada de feixe cônico (TCFC) para seu diagnóstico e localização, onde a mesma visou garantir a visualização tridimensional das estruturas bucais, trazendo maior precisão no diagnóstico da condição bucal em questão, conseqüentemente levando a uma redução de riscos e complicações durante o procedimento, mostrando-se muito relevante durante o acompanhamento do progresso do tratamento. Paciente procurou atendimento odontológico com queixa de dor espontânea, à percussão e à palpação no incisivo superior direito. A perfuração na região vestibular da raiz só foi precisamente localizada por meio da TCFC e foi selada com cimento biocerâmico reparador, após retratamento endodôntico não cirúrgico.

3. PROPOSIÇÃO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptação marginal de diferentes materiais seladores utilizados em perfurações da região de furca, bem como analisar a alteração dimensional desses materiais.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Parecer do comitê de ética em pesquisa

O presente estudo foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa Institucional e aprovado sob o parecer CAAE nº 81431717.1.0000.5076.

Cálculo amostral

O tamanho amostral foi calculado com base em estudo prévio conduzido por Decurcio *et al.* (2012), no qual foram avaliadas dimensões de materiais obturadores em imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) utilizando o software e-Vol DX. Considerando um nível de significância de 5%, determinou-se que uma amostra mínima de 10 dentes por grupo seria necessária.

Seleção e preparo das amostras

Foram selecionados 70 molares humanos extraídos por diferentes indicações clínicas. Radiografias pré-operatórias foram realizadas com o

objetivo de verificar a integridade da região de furca, a ausência de reabsorções internas ou externas e a presença de rizogênese completa. As imagens radiográficas foram obtidas com o equipamento Spectro II (Dabi-Atlante, Ribeirão Preto, SP, Brasil), ajustado em 60 kV, 7 mA, 60 Hz e tempo de exposição de 0,3 s, utilizando sensor intraoral digital.

Os dentes foram removidos da solução de timol a 0,2% (Farmácia Escola UFG) e imersos em hipoclorito de sódio a 5% por 30 minutos, com a finalidade de remover tecidos orgânicos remanescentes. Em seguida, as coroas foram seccionadas utilizando discos diamantados em máquina de corte sob refrigeração.

As perfurações na região de furca foram confeccionadas com broca carbide nº 4 (Dentsply Mailefer, Ballaigues, Suíça), com diâmetro de 1,40 mm e profundidade de 2 a 3 mm, acionada em alta rotação. A broca foi posicionada perpendicularmente ao assoalho da câmara pulpar, no sentido cérvico-apical. Após esse procedimento, os dentes foram distribuídos aleatoriamente em sete grupos experimentais (n = 10), de acordo com o material selador utilizado.

As perfurações foram preenchidas com os materiais experimentais testados, manipulados e adaptados conforme as recomendações dos respectivos fabricantes: G1 – Cimento Portland; G2 – Cimento PBS HP White; G3 – Cimento MTA Ângelus Cinza; G4 – Cimento MTA Ângelus Branco; G5 – Cimento Bio-C Repair; G6 – Cimento MTA Flow; G7 – Cimento Biodentine (Tabela 1).

Tabela 1. Materiais, composições e fabricantes.

Cimento	Composição química	Fabricante
Cimento Portland	Silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, gipsita, sílica	CP II-F-32; Cia. de Cimento Itaú, Itaú de Minas, MG, Brasil.
Cimento PBS White	Óxido de cálcio, silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, carbonato de cálcio, gipsita, sílica	CIMMO Biocerâmicos, Pouso Alegre, MG, Brasil.

Cimento MTA Angelus cinza	Óxido de cálcio, sílica, óxido de bismuto, gipsita	Angelus, Londrina, PR, Brasil.
Cimento MTA Angelus branco	Óxido de cálcio, sílica, óxido de alumínio, óxido de bismuto, gipsita	Angelus, Londrina, PR, Brasil.
Cimento Bio-C Repair	Óxido de cálcio, sílica, óxido de bismuto, óxido de alumínio, fosfato de cálcio	Angelus, Londrina, PR, Brasil.
Cimento MTA Flow	Óxido de cálcio, sílica, óxido de bismuto, óxido de alumínio, fosfato de cálcio	Ultradent Products Inc. South Jordan, UT, EUA.
Cimento Biodentine	Óxido de cálcio, sílica, zircônia, gipsita, carbonato de cálcio, óxido de ferro, óxido de bismuto, carbonato de magnésio	Septodont (França)

Análise da adaptação marginal dos materiais seladores

Os dentes foram mantidos em solução de hipoclorito de sódio a 2,5% (Fitofarma, Goiânia, GO, Brasil) por 3 horas e submetidos a trocas sequenciais de álcoois (70° GL, 96° GL e 99,5° GL) durante 5 horas. Posteriormente, os espécimes foram transferidos para estufa odontológica (Biomatic, ref. 302, modelo 424) a 60 °C por 4 horas.

Após a secagem, os espécimes foram cuidadosamente manuseados com auxílio de pinça e fixados em stubs utilizando pó de grafite e esmalte de unha incolor. Em seguida, foram metalizados com ouro e analisados em microscópio eletrônico de varredura (MEV) (Leo Stereoscan 420i, Leica Electron Optics, Cambridge Instruments, Cambridge, Reino Unido), operando com tensão de 8 a 10 kV e resolução de 2 nm. Foram obtidas imagens com ampliações de 100× e 500×.

A área da perfuração de furca de cada espécime foi dividida em quatro quadrantes e classificada por escores, de acordo com a presença ou ausência de fendas entre o material selador e a parede da perfuração, localizada no centro do assoalho da câmara pulpar, entre os canais radiculares. Foram definidos cinco escores: Escore 0 – ausência de fendas; Escore 1 – fenda em até ¼ da área ou em um quadrante; Escore 2 – fenda

em até 2/4 da área ou em dois quadrantes; Escore 3 – fenda em até três quadrantes; Escore 4 – fenda em toda a área da perfuração ou ausência total de adaptação.

Essa classificação foi baseada em estudo prévio de Oliveira et al. (2012) (Figura 1).



Figura 1. Representação esquemática da classificação utilizada na avaliação das áreas de adaptação marginal dos materiais seladores

Para a análise das imagens de MEV, a magnificação de 100× foi adotada como padrão, por permitir a visualização simultânea de todos os quadrantes. Quando necessário, imagens com aumento de 500× foram utilizadas para esclarecimento de casos duvidosos.

A análise estatística foi realizada usando o *software* Jamovi 1.1.9 (The Jamovi Project, 2019). Os diferentes materiais seladores 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 $\alpha = 5\%$.

Caracterização química da interface dentina- material selador

A caracterização química da superfície foi realizada por espectroscopia de energia dispersiva de raios X (EDX), utilizando o

software NSS Spectral Analysis System 2.3 (Thermo Fisher Scientific Inc., Suwanee, GA, EUA). As análises foram conduzidas na superfície dos quadrantes de cada espécime, empregando feixe de elétrons com diâmetro inferior a 50 nm, tensão de aceleração de 25 kV e corrente de 110 mA. O espectro foi adquirido por um período de 100 segundos, de acordo com a composição química descrita pelos fabricantes dos materiais.

Aquisição e mensuração das imagens pela TCFC

Os espécimes foram posicionados no centro de uma plataforma preenchida com água, com a finalidade de simular tecidos moles, e tiveram suas faces dentárias devidamente identificadas. As imagens de TCFC foram adquiridas utilizando o aparelho i-CAT Cone Beam 3D Imaging System (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, EUA). Os volumes foram reconstruídos com voxel isométrico de 0,2 mm, utilizando tensão de 120 kVp, corrente de 3,8 mA e tempo de exposição de 40 segundos.

As imagens foram avaliadas por dois examinadores previamente calibrados, utilizando o software do fabricante (Xoran 3.1.62; Xoran Technologies, Ann Arbor, MI, EUA). Todas as imagens foram reformatadas com espessuras de corte de 0,2 mm, 0,6 mm, 1,0 mm, 3,0 mm e 5,0 mm. As mensurações do material selador foram realizadas no plano axial, nos eixos vestibulo-lingual e mésio-distal.

Devido à influência do endurecimento do feixe (*beam hardening*) e da radiação de dispersão, foram realizadas duas mensurações em cada eixo, considerando-se como referência os pontos mais externos do contorno da imagem da perfuração. Todas as medidas foram executadas por um radiologista experiente e treinado no uso do software.

A análise estatística foi realizada por meio de análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey, adotando-se nível de significância de $\alpha = 5\%$.

Mensuração no software e-Vol DX

As imagens originais no formato DICOM foram exportadas com resolução, profundidade de bits e orientação originais e importadas para o software e-Vol DX. Após o correto posicionamento das amostras, foi

utilizada a ferramenta “mapa de cor”, que permite a representação das imagens em tons de cinza convertidos em diferentes espectros de cores, de acordo com a intensidade de sinal dos materiais.

As regiões hiperdensas foram inicialmente identificadas pela cor vermelha. Em seguida, essas áreas foram analisadas utilizando o algoritmo Blooming Artifact Reduction (BAR), aplicado em quatro intensidades distintas, com ajustes automáticos de brilho, contraste, aprimoramento e alcance, conforme os diferentes materiais reparadores. A validação final foi realizada por meio da imagem em tons de cinza, confirmando visualmente os contornos do objeto sem interferência das imagens hiperdensas nas estruturas adjacentes.

Os algoritmos BAR 1, BAR 2 e BAR 3 foram selecionados para a análise. Após essa etapa, a ferramenta de mensuração linear foi utilizada para medir os eixos vestibulo-lingual e mésio-distal do espaço da perfuração.

Mensuração real dos espécimes

As dimensões reais dos materiais seladores nas perfurações de furca foram mensuradas por dois examinadores experientes, utilizando um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (Fowler/Sylvac Ultra-Cal Mark IV Electronic Caliper, Crissier, Suíça). Em casos de discordância, um terceiro examinador foi consultado, e a concordância entre avaliadores foi analisada por meio do teste Kappa.

5. RESULTADOS

Análise da adaptação marginal

A distribuição dos escores de adaptação marginal dos materiais seladores encontra-se apresentada na Tabela 2, enquanto as comparações pareadas entre os grupos estão descritas na Tabela 3.

De modo geral, observou-se maior frequência do escore 0, correspondente à ausência de fendas, totalizando 29 observações (41,4%), seguido pelos escores 3 (18,6%), 1 e 2 (17,1% cada) e pelo escore 4 (5,7%).

Na análise comparativa entre os materiais, o G2 (Cimento PBS White) apresentou desempenho superior ao G7 (Cimento Biodentine), com diferença estatisticamente significativa quanto ao grau de adaptação marginal ($p = 0,022$). Para as demais comparações entre os grupos experimentais, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$).

Apesar da ausência de significância estatística na maioria das comparações, a análise descritiva evidenciou que os grupos G1 (Cimento Portland), G2 (Cimento PBS White), G3 (Cimento MTA Angelus cinza) e G4 (Cimento MTA Angelus branco) apresentaram maior concentração de escores favoráveis (0 e 1). Em contrapartida, os grupos G6 (Cimento MTA Flow) e G7 (Cimento Biodentine) apresentaram maior frequência de escores elevados (2, 3 e 4), indicando pior adaptação marginal (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição dos escores de adaptação marginal em função dos diferentes materiais seladores.

Grupos		Análise da adaptação marginal					Total
		Score 0	Score 1	Score 2	Score 3	Score 4	
G1	Observado	5	2	2	1	0	10
	% do total	7,1 %	2,9 %	2,9 %	1,4 %	0,0 %	14,3 %
G2	Observado	6	4	0	0	0	10
	% do total	8,6 %	5,7 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	14,3 %
G3	Observado	5	2	3	0	0	10
	% do total	7,1 %	2,9 %	4,3 %	0,0 %	0,0 %	14,3 %
G4	Observado	5	1	2	1	1	10
	% do total	7,1 %	1,4 %	2,9 %	1,4 %	1,4 %	14,3 %
G5	Observado	5	0	1	4	0	10
	% do total	7,1 %	0,0 %	1,4 %	5,7 %	0,0 %	14,3 %
G6	Observado	2	2	0	3	3	10
	% do total	2,9 %	2,9 %	0,0 %	4,3 %	4,3 %	14,3 %
G7	Observado	1	1	4	4	0	10
	% do total	1,4 %	1,4 %	5,7 %	5,7 %	0,0 %	14,3 %
Total	Observado	29	12	12	13	4	70
	% do total	41,4 %	17,1 %	17,1 %	18,6 %	5,7 %	100,0 %

G1: Cimento Portland; G2: Cimento PBS White; G3: Cimento MTA Angelus cinza; G4: Cimento MTA Angelus branco; G5: Cimento Bio-C Repair; G6: Cimento MTA Flow; G7: Cimento Biodentine.

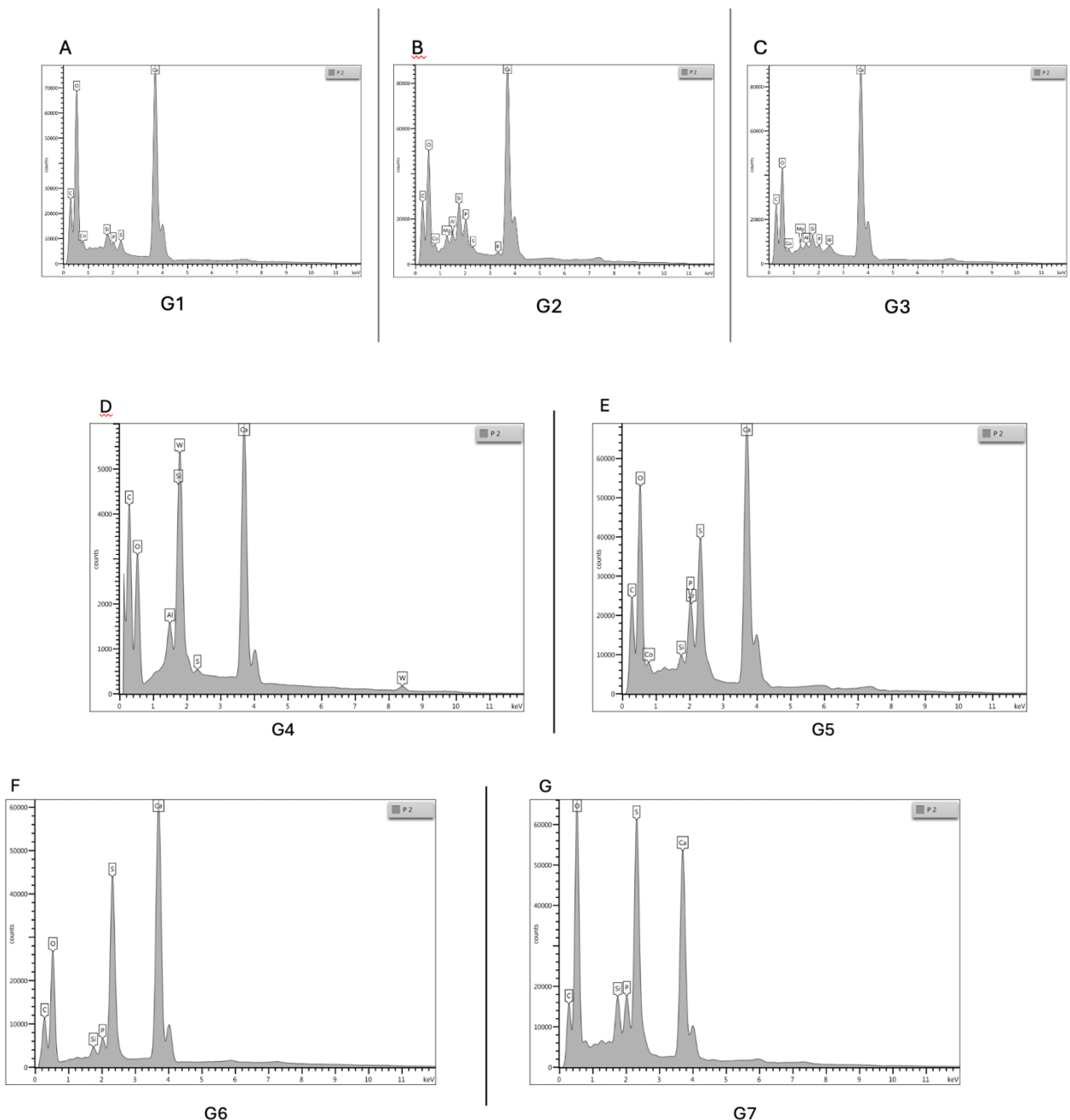
Tabela 3. Comparação dos materiais seladores de acordo com o grau de adaptação marginal.

		W	p
G1	G2	-1.309	0.969
G1	G3	-0.174	1.000
G1	G4	0.460	1.000
G1	G5	0.981	0.993
G1	G6	2.813	0.422
G1	G7	3.161	0.277
G2	G3	1.310	0.969
G2	G4	1.536	0.932
G2	G5	1.771	0.874
G2	G6	3.597	0.144
G2	G7	4.550	0.022
G3	G4	0.635	0.999
G3	G5	1.268	0.973
G3	G6	2.975	0.351
G3	G7	3.620	0.139
G4	G5	0.404	1.000
G4	G6	2.206	0.708
G4	G7	2.215	0.704
G5	G6	2.127	0.743
G5	G7	1.299	0.970
G6	G7	-0.881	0.996

G1: Cimento Portland; G2: Cimento PBS White; G3: Cimento MTA Angelus cinza; G4: Cimento MTA Angelus branco; G5: Cimento Bio-C Repair; G6: Cimento MTA Flow; G7: Cimento Biodentine.

Caracterização química

Os espectros obtidos evidenciaram diferenças na composição elementar entre os grupos experimentais, de acordo com a formulação de cada material (Figuras- A; representando o G1, B; representando o G2, C; representando o G3, D; representando o G4, E; representando o G5, F; representando o G6, G; representando o G7).



O espectro EDX do G1 evidenciou picos predominantes de cálcio (Ca) e oxigênio (O), além da presença de carbono (C), cobalto (Co), silício (Si) fósforo (P) e enxofre (S). No G2, observaram-se picos de cálcio (Ca) e oxigênio (O), associados à presença de alumínio (Al), magnésio (Mg) e potássio (K). O espectro demonstrou padrão semelhante ao observado no G1, mas com a presença de alumínio (Al), magnésio (Mg) e potássio (K). O G3 apresentou picos expressivos de cálcio (Ca) e oxigênio (O), além da presença marcante de bismuto (Bi), utilizado como agente radiopacificante.

Também foram identificados sinais de alumínio (Al) e magnésio (Mg). No G4, o espectro EDX revelou picos predominantes de cálcio (Ca) e silício (Si), além da presença de tungstênio (W), associados à presença de alumínio (Al). Elementos como enxofre (S) e oxigênio (O) também foram detectados. O G5 apresentou espectro caracterizado por picos intensos de cálcio (Ca) e oxigênio (O), além da presença de silício (Si) e zircônio (Zr), como radiopacificador. No G6, observaram-se picos predominantes de cálcio (Ca) e oxigênio (O) acompanhados de silício (Si), enxofre (S), fósforo (P) e carbono (C). O espectro também indicou a presença de alumínio (Al) e oxigênio (O). O espectro EDX do G7 apresentou o mesmo perfil elementar do G6, mas com picos predominantes diferentes.

Análise da redução do artefato

No sentido mesio-distal, as medidas realizadas com o paquímetro e com o software e-Vol DX apresentaram medianas de 2,70 mm e 2,68 mm, respectivamente. A comparação entre os métodos, por meio do teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas, não demonstrou diferença estatisticamente significativa ($p = 0,112$), indicando concordância entre as técnicas de mensuração (Figura f).

De forma semelhante, no sentido vestibulo-lingual, as medianas observadas foram de 2,63 mm para as medidas realizadas com o paquímetro e de 2,70 mm para aquelas obtidas com o software e-Vol DX. A análise comparativa entre os métodos também não revelou diferença estatisticamente significativa ($p = 0,167$), confirmando a concordância entre as mensurações realizadas (Figura F).

A avaliação da concordância entre os métodos evidenciou viés mínimo entre as medidas. No eixo vestibulo-lingual, o viés médio foi de $-0,002$ mm, com limites de concordância de $-0,007$ mm a $0,003$ mm, abrangendo 95% das observações. No eixo mesio-distal, o viés foi inferior a $0,001$ mm, com limites de concordância variando de $-0,006$ mm a $0,004$ mm, indicando elevada concordância entre o paquímetro digital e o software e-Vol DX.

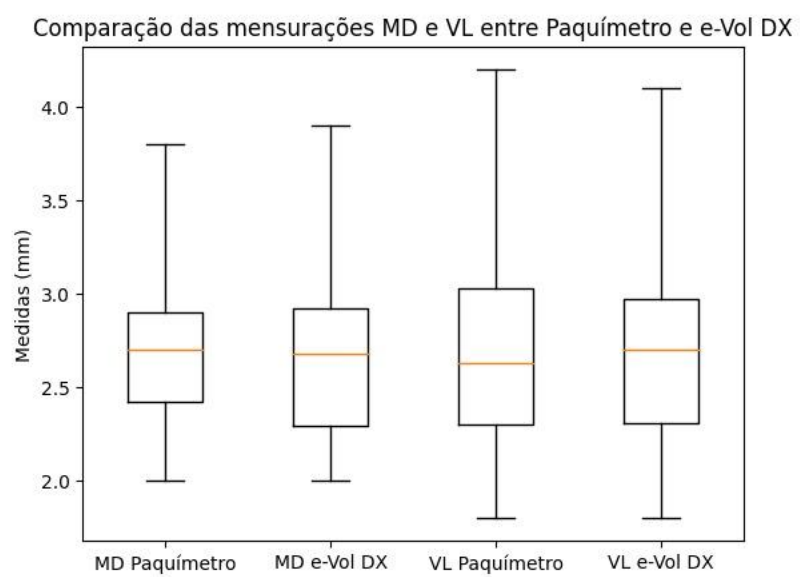


Figura F: representando as medianas da comparação entre os métodos.

6.DISCUSSÃO

O presente estudo avaliou a adaptação marginal e a alteração dimensional de diferentes materiais seladores empregados no reparo de perfurações na região de furca, utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV) e tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), associada ao software e-Vol DX com algoritmo de redução de artefatos. A justificativa científica sustenta-se no fato de que o selamento adequado é determinante para o sucesso clínico e prognóstico do dente, enquanto materiais densos e com elevado número atômico podem induzir artefatos de contraste do branco, interferindo na visualização tridimensional e na precisão diagnóstica (Sugaya *et al.*, 2021; Kurt *et al.*, 2019). Assim, avaliar simultaneamente vedação marginal e comportamento radiográfico é clinicamente relevante, pois a interpretação por TCFC integra o acompanhamento de casos complexos e decisões terapêuticas na endodontia contemporânea (Patel *et al.*, 2019).

Os resultados mostraram predomínio do escore 0 (41,4% das observações), sugerindo adequada adaptação marginal em parcela relevante das amostras. Na comparação entre materiais, a diferença estatisticamente significativa ocorreu apenas entre G2 (PBS White) e G7 (Biodentine) ($p = 0,022$), enquanto as demais comparações não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$). Esse padrão (poucas diferenças significativas entre múltiplos materiais) é compatível com a noção de que diferentes cimentos reparadores podem apresentar desempenho semelhante em condições laboratoriais controladas, dependendo de variáveis de manipulação, inserção e substrato.

A literatura frequentemente atribui aos cimentos à base de silicato de cálcio bioatividade e potencial de interação com a dentina, o que poderia favorecer selamento e adaptação (Vandertoghelt *et al.*, 2017; Korkmaz *et al.*, 2019). Estudos também descrevem formação de camada mineralizada e interface favorável com dentina para materiais como Biodentine, com potencial de melhorar o selamento (Gandolfi *et al.*, 2015). No presente estudo, entretanto, o Biodentine (G7) apresentou desempenho inferior ao PBS White (G2), o que reforça que a vantagem biológica potencial descrita na literatura nem sempre se traduz automaticamente em melhor adaptação marginal na análise morfológica por MEV. Isso pode ocorrer porque a adaptação marginal é influenciada por fatores operatórios e físicos, como fluidez, acomodação em cavidades

padronizadas, tempo de presa, contração/expansão e sensibilidade à umidade—aspectos discutidos em estudos de avaliação de selamento e adaptação em perfurações (Bidar *et al.*, 2007; Polineni *et al.*, 2016).

Um ponto relevante é que o cimento Portland (G1) foi incluído por sua proximidade composicional com materiais do tipo MTA, sendo frequentemente citado como “precursor” (Camilleri, 2008; Torabinejad & Chivian, 1999). Embora existam preocupações sobre solubilidade e padronização quando comparado a materiais odontológicos (Camilleri, 2008), no presente estudo o G1 apresentou distribuição de escores globalmente favorável. Isso ilustra a importância de separar “desempenho em adaptação marginal *in vitro*” de considerações mais amplas (biocompatibilidade, radiopacidade, controle industrial), discutidas na literatura como essenciais para a aplicabilidade clínica (Camilleri, 2008).

A adaptação marginal pode ser avaliada por diferentes metodologias, como infiltração por corante, micro-CT e análise microscópica direta, cada uma com limitações próprias. A infiltração por corante é simples, porém sujeita a limitações de padronização e interpretação, além de não permitir visualização direta detalhada da interface (Camps & Pashley, 2003; Oliveira *et al.*, 2012). A micro-CT fornece alta resolução tridimensional, mas sofre interferência de artefatos com materiais radiopacos, o que pode comprometer a avaliação de cimentos densos (Kurt *et al.*, 2019).

A MEV, por sua vez, é frequentemente considerada método robusto para análise da interface material–dentina, pois permite visualização direta de fendas e descontinuidades em alta resolução (Camilleri, 2014; Silva Almeida *et al.*, 2017). No presente estudo, a adoção de um sistema de escores (Oliveira *et al.*, 2012), em alinhamento com abordagens qualitativas previamente empregadas para comparação entre grupos, contribui para reprodutibilidade e comparabilidade com a literatura (Balguerie *et al.*, 2011; Polineni *et al.*, 2016). Além disso, a associação MEV–EDS/EDX amplia o potencial de interpretação por permitir contextualizar o comportamento do material com sua composição elementar, abordagem frequentemente explorada em investigações de biomateriais endodônticos (Camilleri, 2014).

A análise por EDX evidenciou variação de constituintes elementares entre os grupos, com predominância de Ca e Si em materiais à base de silicato de cálcio e presença de radiopacificadores como Bi (em materiais do tipo MTA) e Zr

(em materiais como Biodentine e biocerâmicos), o que é coerente com descrições de composição e reatividade desses cimentos (Camilleri, 2007; Gandolfi *et al.*, 2015). Em estudos prévios, a presença de Ca/Si tem sido associada à bioatividade e potencial de formação de depósitos minerais na interface (Makhlouf *et al.*, 2021), enquanto a natureza do radiopacificador pode impactar microestrutura e propriedades físicas (Camilleri, 2014).

Ainda assim, os seus resultados indicaram que diferenças composicionais não se traduziram, de forma consistente, em diferenças estatisticamente significativas na adaptação marginal (com exceção de G2 × G7). Esse achado reforça uma observação comum na literatura: composição é um determinante importante, mas o desempenho de vedação é multifatorial e depende também de propriedades reológicas, manipulação e condições do ensaio (Toia *et al.*, 2022; Makhlouf *et al.*, 2021).

Embora a TCFC tenha ampliado a capacidade diagnóstica em endodontia por permitir visualização tridimensional e avaliação de estruturas complexas, ela é vulnerável a artefatos, sobretudo na presença de materiais densos (Patel *et al.*, 2019). A radiografia periapical permanece útil, mas sua natureza bidimensional limita a detecção de perfurações e alterações em áreas complexas como furca, favorecendo sobreposições e erros (Estrela *et al.*, 2008; Kamburoğlu *et al.*, 2016; Ricucci *et al.*, 2009). Assim, TCFC é particularmente atrativa para acompanhamento de perfurações; entretanto, beam hardening e blooming podem distorcer contornos e simular achados, especialmente com radiopacificadores de alto número atômico (Brito-Júnior *et al.*, 2014; Sugaya *et al.*, 2021).

Nesse cenário, os achados do presente estudo são relevantes: as mensurações comparando método físico (paquímetro/microscópio, conforme descrito no seu protocolo) e o e-Vol DX demonstraram alta concordância, com ausência de diferença estatisticamente significativa entre métodos nos eixos mésio-distal ($p = 0,112$) e vestíbulo-lingual ($p = 0,167$), e viés mínimo na análise de Bland–Altman (VL = $-0,002$ mm; MD < $0,001$ mm). Esses resultados sustentam que o e-Vol DX, associado a recursos de redução de artefatos, pode permitir mensuração dimensional confiável mesmo quando materiais radiopacos estão presentes.

A literatura tem destacado que o e-Vol DX foi desenvolvido para otimizar leitura de imagens odontológicas e incorporar filtros específicos como o Blooming Artifact Reduction (BAR), com potencial de reduzir artefatos e melhorar delineamento de contornos (Estrela *et al.*, 2020; Borges *et al.*, 2023; Estrela *et al.*, 2025). Estudos prévios também reportam boa concordância entre medidas obtidas por softwares e métodos físicos, reforçando a aplicabilidade em pesquisas que exigem precisão milimétrica (Decurcio *et al.*, 2012). Além disso, há relatos de desempenho superior do e-Vol DX em determinadas tarefas diagnósticas quando comparado a leitores DICOM mais genéricos (Silva *et al.*, 2021). Em conjunto, o presente estudo se alinha a esse corpo de evidências ao demonstrar concordância elevada e viés mínimo, reforçando que a avaliação por TCFC pode ser robusta quando associada a ferramentas adequadas de processamento.

A hipótese nula considerou ausência de diferença na adaptação marginal e na alteração dimensional nas imagens por TCFC. Com base nos resultados, a hipótese nula não é integralmente sustentada para adaptação marginal, pois houve diferença significativa entre G2 e G7 ($p = 0,022$). Entretanto, para as mensurações dimensionais (comparação entre métodos), os resultados apontaram ausência de diferença estatisticamente significativa e elevada concordância, sustentando a hipótese nula no que se refere à equivalência de medidas entre os métodos, dentro das condições do estudo. Essa leitura equilibrada evita generalizações indevidas e está em consonância com evidências que demonstram variabilidade entre materiais e, ao mesmo tempo, potencial de softwares/filtros para manter mensurações confiáveis (Estrela *et al.*, 2020; Borges *et al.*, 2023; Makhlouf *et al.*, 2021).

Algumas limitações devem ser reconhecidas. Por tratar-se de estudo *in vitro*, não é possível reproduzir integralmente condições clínicas como pressão hidrostática, presença de fluido dentinário, carga mastigatória e microbiota, fatores capazes de influenciar comportamento físico e biológico dos materiais (Camps & Pashley, 2003). A MEV, apesar de robusta, requer preparo que pode induzir artefatos por desidratação e retração, além de ser destrutiva (Oliveira *et al.*, 2012). O sistema de escores, embora útil e amplamente empregado, possui componente de subjetividade, exigindo rigor de calibração e, idealmente,

complementação por métodos quantitativos em estudos futuros (Polineni et al., 2016).

No âmbito da TCFC, mesmo com filtros de redução de artefato, distorções residuais podem ocorrer, especialmente com materiais densos e certos radiopacificadores (Sugaya *et al.*, 2021; Brito-Júnior et al., 2014). A qualidade final também depende de parâmetros de aquisição (voxel, FOV, kVp/mA) e do equipamento (Estrela *et al.*, 2020). Por fim, a realização de múltiplas comparações entre grupos aumenta o risco de erro tipo I, exigindo rigor na abordagem estatística e na interpretação dos achados.

Futuros estudos podem incorporar desenhos ex vivo/in vivo, avaliação longitudinal após ciclagem térmica/mecânica e exposição a ambientes simulados (variação de pH, contaminação), ampliando a validade externa. No campo de imagem, algoritmos baseados em IA para detecção/mitigação automática de artefatos representam uma linha promissora. Também é recomendável integrar MEV/EDS, TCFC e análises tridimensionais quantitativas para ampliar correlações entre composição, vedação e comportamento radiográfico. Considerando o crescimento de biomateriais seladores, estudos multicêntricos e avaliações de custo-benefício e impacto diagnóstico são desejáveis para orientar decisões clínicas com base em evidências.

Em conjunto, os achados reforçam uma visão multifatorial: a escolha do material selador deve considerar não apenas bioatividade e propriedades físico-químicas, mas também sua representação por imagem e o impacto potencial na confiabilidade diagnóstica. Ao demonstrar diferença significativa entre materiais específicos na adaptação marginal e, simultaneamente, elevada concordância dimensional entre métodos físicos e e-Vol DX, este estudo contribui para uma tomada de decisão mais completa, integrando selamento e compatibilidade radiográfica tridimensional no contexto do reparo de perfurações de furca.

6. CONCLUSÃO

Os materiais seladores avaliados apresentaram, de modo geral, desempenho semelhante quanto à adaptação marginal em perfurações da região de furca. A caracterização química evidenciou variações composicionais entre os materiais, sem que essas diferenças se refletissem de forma consistente na adaptação marginal. A análise da redução de artefatos demonstrou elevada concordância entre as mensurações realizadas pelo paquímetro digital e pelo software e-Vol DX, confirmando a confiabilidade da tomografia computadorizada de feixe cônico associada a ferramentas avançadas de processamento de imagem para a avaliação dimensional de materiais seladores, mesmo na presença de artefatos.

7. REFERÊNCIAS

ABDELRAHMAN, Mai H.; HASSAN, Mohamed Y. A comparative evaluation of the sealing ability of two calcium silicate based sealers and a resin epoxy-based sealer through scanning electron microscopy and bond strength: an in vitro study. **Brazilian Journal of Oral Sciences**, v. 20, e214073, 2021.

AL-HADDAD, A.; CHE AB AZIZ, Z. A. Bioceramic-based root canal sealers: a review. **International Journal of Biomaterials**, 2016.

ALAZRAG, M. A.; ABU-SEIDA, A. M.; EL-BATOUTY, K. M.; EL ASHRY, S. H. Marginal adaptation, solubility and biocompatibility of TheraCal LC compared with MTA-Angelus and Biodentine as a furcation perforation repair material. **BMC Oral Health**, v. 20, 298, 2020.

AMBROSE, J. Computerized transverse axial scanning (tomography). II. Clinical application. **British Journal of Radiology**, v. 46, p. 1023-1047, 1973.

ANDRADE, L. R. et al. Root perforation repair: literature review. **Brazilian Dental Science**, 2023.

ARENS, Donald E.; TORABINEJAD, Mahmoud. Repair of furcal perforations with mineral trioxide aggregate: two case reports. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology**, v. 82, n. 1, p. 84-88, 1996.

AZEVEDO, B.; LEE, R.; SHINTAKU, W.; NOUJEIM, M.; NUMMIKOSKI, P. Influence of the beam hardness on artifacts in cone-beam CT. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology**, v. 105, p. 48, 2008.

AZEVEDO, B. C.; ESTRELA, C.; BUENO, M. R. et al. Root perforations: diagnosis, prognosis and treatment. **Brazilian Dental Journal**, 2008.

BALGUERIE, E. et al. Sealer penetration and adaptation in the dentinal tubules: a scanning electron microscopic study. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 11, p. 1576-1579, 2011.

BERNABÉ, P. F. E.; HOLLAND, R. Endodontic Surgery. In: ESTRELA, C. **Endodontic Science**. São Paulo: Artes Médicas, 2009. p. 1079-1173.

BERNABÉ, P. F. E.; HOLLAND, R.; DE SOUZA, V. et al. Treatment of perforations with MTA: long-term evaluation. **Journal of Endodontics**, 2009.

BERNABÉ, P. F. E.; HOLLAND, R.; MORANDI, R. et al. Comparative study of MTA and other materials in retrofilling of pulpless dogs' teeth. **Brazilian Dental Journal**, v. 16, p. 149, 2005.

BERNABÉ, P. F. E.; HOLLAND, R.; MORI, G. G. et al. Repair of furcal perforations with mineral trioxide aggregate: a histologic study in dogs. **International Endodontic Journal**, 2005.

BIDAR, M. et al. Sealing ability of mineral trioxide aggregate and other materials. **Journal of Endodontics**, 2007.

BORGES, F. M. et al. Análise do artefato de contraste em tomografia computadorizada de feixe cônico. **Revista Brasileira de Odontologia**, 2023.

BRITO-JÚNIOR, Manoel et al. Ex vivo evaluation of artifacts mimicking fracture lines on cone-beam computed tomography produced by different root canal sealers. **International Endodontic Journal**, v. 47, n. 1, p. 26-31, 2014.

BUENO, M. R. et al. Development of a new cone-beam computed tomography software for endodontic diagnosis. **Brazilian Dental Journal**, v. 29, n. 6, p. 517-529, dez. 2018.

BUENO, M. R.; AZEVEDO, B. C.; ESTRELA, C. A critical review of the differential diagnosis of root fracture line in CBCT scans. **Brazilian Dental Journal**, v. 32, n. 5, p. 114-128, 2021.

BUENO, Mike Reis; ESTRELA, Carlos; FIGUEIREDO, José Antônio Poli de; AZEVEDO, Bruno Cavalcanti. Map-reading strategy to diagnose root perforations near metallic intracanal posts by using cone beam computed tomography. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 1, p. 85-90, 2011.

CAMILLERI, J. The chemical composition of mineral trioxide aggregate. **Journal of Conservative Dentistry**, v. 11, p. 141-143, 2008.

CAMILLERI, J.; MONTESIN, F. E.; DI SILVIO, L.; PITT FORD, T. R. The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. **International Endodontic Journal**, v. 38, p. 834-842, 2005.

CAMILLERI, J.; PITT FORD, T. R. Mineral trioxide aggregate: a review of the constituents and biological properties of the material. **International Endodontic Journal**, v. 39, p. 747-754, 2006.

CAMILLERI, Josette. Hydration characteristics of Biodentine and TheraCal used as pulp capping materials. **Dental Materials**, v. 30, n. 7, p. 709-715, 2014.

CAMPS, Jean; PASHLEY, David H. Reliability of the dye penetration studies. **Journal of Endodontics**, v. 29, n. 9, p. 592-594, 2003.

CANDEMIL, Amanda P.; SALMON, Benjamin; FREITAS, Deborah Q.; AMBROSANO, Glaucia M. B.; HAITER-NETO, Francisco; OLIVEIRA, Matheus L. Metallic materials in the exomass impair cone beam CT voxel values. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 47, n. 6, 20180011, 2018.

CAPUTO, Igor Galvão de Carvalho et al. Tooth loss related to root perforation: legal approach in endodontic practice. **International Journal of Odontostomatology**, v. 8, n. 2, p. 221-224, 2014.

CARDOSO, Mirela et al. Biodentine for furcation perforation repair: an animal study with histological, radiographic and micro-computed tomographic assessment. **Iranian Endodontic Journal**, v. 13, n. 3, p. 323-330, 2018.

CELIK TEN, Berkan et al. Assessment of volumetric distortion artifact in filled root canals using different cone-beam computed tomographic devices. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 9, p. 1517-1521, 2017.

CELIK TEN, Berkan; JACOBS, Reinhilde; VASCONCELOS, Karla de Faria; HUANG, Yu; SHAHEEN, Eman; NICOLIELO, Laura F. P.; ORHAN, Kaan. Comparative evaluation of cone beam CT and micro-CT on blooming artifacts in human teeth filled with bioceramic sealers. **Clinical Oral Investigations**, v. 23, n. 5, p. 2227-2234, 2019.

CLAUDER, T.; SHIN, S. J. Repair of perforations with MTA: clinical applications and mechanisms of action. **Endodontic Topics**, v. 15, p. 32-55, 2009.

COTTON, T. P.; GEISLER, T. M.; HOLDEN, D. T.; SCHWARTZ, S. A.; SCHINDLER, W. G. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. **Journal of Endodontics**, v. 33, p. 1121-1132, 2007.

DECURCIO, D. A.; BUENO, M. R.; DE ALENCAR, A. H.; PORTO, O. C.; AZEVEDO, B. C.; ESTRELA, C. Effect of root canal filling materials on dimensions of cone-beam computed tomography images. **Journal of Applied Oral Science**, v. 20, p. 260-267, 2012.

DOGENSKI, Letícia Copatti. **A influência de artefatos brancos de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico na avaliação da qualidade da obturação de dentes tratados endodonticamente**. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/247262>. Acesso em: 14 maio 2026.

ESPALADORI, Mariana Conti et al. Experimental furcal perforation treated with mineral trioxide aggregate plus selenium: immune response. **Brazilian Oral Research**, v. 32, e103, 2018.

ESTRELA, C. et al. Cone-beam computed tomography artifacts in endodontics: a review of the literature. **Brazilian Dental Journal**, v. 31, n. 1, p. 3-8, 2020.

ESTRELA, C. et al. Potential of a new cone-beam CT software for blooming artifact reduction. **Brazilian Dental Journal**, v. 31, n. 6, p. 582-588, nov. 2020.

ESTRELA, C.; BUENO, M. R.; AZEVEDO, B. C. et al. Cone beam computed tomography in endodontics. **Dental Press Endodontics**, 2018.

ESTRELA, C.; ENDO, M. M.; BUENO, M. R.; AZEVEDO, B. C.; DECURCIO, D. A.; ESTRELA, L. R. A. Aplicação do algoritmo de supressão de artefatos do software CBCT de pós-processamento em materiais de preenchimento de canais radiculares. **Brazilian Oral Research**, v. 39, e011, 2025.

ESTRELA, C.; HOLLAND, R.; ESTRELA, C. R.; ALENCAR, A. H.; SOUSA-NETO, M. D.; PÉCORÁ, J. D. Characterization of successful root canal treatment. **Brazilian Dental Journal**, v. 25, n. 1, p. 3-11, 2014.

ESTRELA, Carlos et al. Accuracy of cone beam computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 3, p. 273-279, 2008.

ESTRELA, Carlos; DECURCIO, Daniel de Almeida; ROSSI-FEDELE, Giampiero; SILVA, Júlio Almeida; GUEDES, Orlando Aguirre; BORGES, Álvaro Henrique. Root perforations: a review of diagnosis, prognosis and materials. **Brazilian Oral Research**, São Paulo, v. 32, supl. 1, e73, 2018.

ESTRELA, Carlos; SYDNEY, Gilson B.; BAMMANN, Lilian L.; FELIPPE JÚNIOR, Osmar. Mechanism of action of calcium and hydroxyl ions of calcium hydroxide on tissue and bacteria. **Brazilian Dental Journal**, v. 6, n. 2, p. 85-90, 1995.

FARIAS-GOMES, Amanda; FONTENELE, Rocharles C.; ROSADO, Luiz Paulo L.; NEVES, Francisco S.; FREITAS, Deborah Queiroz. The metal post material influences the performance of artefact reduction algorithms in CBCT images. **Brazilian Dental Journal**, v. 33, p. 31-40, 2022.

FUSS, Z.; TROPE, M. Root perforations: classification and treatment choices based on prognostic factors. **Endodontics & Dental Traumatology**, v. 12, p. 255-264, 1996.

GANDOLFI, M. G. et al. Calcium silicate-based materials: properties and bioactivity. **Dental Materials**, v. 31, p. e189-e201, 2015.

GARCIA, L. C. et al. Evaluation of image distortion in CBCT scans. **Oral Radiology**, 2022.

HARISTOY, R. A.; VALIYAPARAMBIL, J. V.; MALLYA, S. M. Correlation of CBCT gray scale values with bone densities. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology**, v. 105, e28, 2008.

HASHEM, A. A. R.; HASSANIEN, E. E. ProRoot MTA, MTA-Angelus and IRM used to repair large furcation perforations: sealability study. **Journal of Endodontics**, v. 34, n. 1, p. 59-61, 2008.

HOUNSFIELD, G. N. Computerised transverse axial scanning (tomography). I. Description of system. **British Journal of Radiology**, v. 46, p. 1016-1022, 1973.

HUNTER, A.; MCDAVID, D. Analyzing the beam hardening artifact in the PlanmecaProMax. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology**, v. 107, p. e28-e29, 2009.

HUTH, K. C. et al. Sealing ability of calcium silicate-based sealers compared with epoxy resin sealer. **Journal of Endodontics**, 2024.

JOHARI, Masoumeh; ABDOLLAHZADEH, Milad; ESMAEILI, Farzad; SAKHAMENEH, Vahideh. Metal artifact suppression in dental cone beam computed tomography images using image processing techniques. **Iranian Journal of Radiology**, 2019.

KAJAN, Z. D. et al. Diagnostic accuracy of CBCT with metal artifact reduction. **Dentomaxillofacial Radiology**, 2017.

KAMBUROĞLU, K. et al. Assessment of furcal perforations in the vicinity of different root canal sealers using a CBCT system with and without the application of artifact reduction mode: an ex vivo investigation on extracted human teeth. **Dental Traumatology**, v. 32, n. 4, p. 280-287, 2016.

KOÇ, Cemre; ASLAN, Berna; ULUSOY, Zuhar; ORUÇOĞLU, Hasan. Sealing ability of three different materials to repair furcation perforations using computerized fluid filtration method. **Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects**, v. 15, n. 3, p. 183-187, 2021.

KORKMAZ, Y.; UNVER, E.; GÜNDÜZ, O. Do intracanal medicaments affect the marginal adaptation of calcium silicate-based materials to dentin? An in vitro micro-CT study. **Journal of Endodontics**, v. 45, n. 12, p. 1633-1639, 2019.

KURT, S. et al. Comparative evaluation of cone-beam CT and micro-CT on blooming artifacts in human teeth filled with bioceramic sealers. **Clinical Oral Investigations**, v. 23, n. 8, p. 3267-3273, 2019.

LEE, S.; MONSEF, M.; TORABINEJAD, M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. **Journal of Endodontics**, v. 19, n. 11, p. 541-544, 1993.

LERNER, B. et al. Use of CBCT for diagnosis of endodontic perforations. **Journal of Endodontics**, 2025.

LIMA, C. L.; PAIVA, S. S. M.; LABANCA, M. R. C. Iatrogenias durante a terapia endodôntica: fatores associados. **Revista de Odontologia**, 2022.

LIMA, Cynd Lamas; PAIVA, Simone Soares Marques; LABANCA, Marta Reis da Costa. Possíveis iatrogenias durante a terapia endodôntica e como preveni-las. **Cadernos de Odontologia do UNIFESO**, Teresópolis, v. 5, n. 1, p. 77-95, 2023.

LOFTHAG-HANSEN, S.; HUMMONEN, S.; GRÖNDAHL, K.; GRÖNDAHL, H.-G. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology**, v. 103, p. 114-119, 2007.

LOUBELE, M.; VAN ASSCHE, N.; CARPENTIER, K.; MAES, F.; JACOBS, R.; VAN STEENBERGHE, D.; SUETENS, P. Comparative localized linear accuracy of field cone-beam CT and multislice CT for alveolar bone measurements. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology**, v. 105, p. 512-518, 2008.

MAKHLOUF, N. A. et al. Marginal adaptation and sealing ability of calcium silicate-based repair cements: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Endodontics**, v. 47, n. 4, p. 567-576, 2021.

MOZZO, P.; PROCACCI, C.; TACCOCI, A.; MARTINI, P. T.; ANDREIS, I. A. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. **European Radiology**, v. 8, p. 1558-1564, 1998.

NAIR, M. K.; NAIR, U. P.; GROPO, F. C. Imaging of endodontic perforations using cone beam CT. **Journal of Endodontics**, 2009.

NAIR, P. N.; DUNCAN, H. F.; PITT FORD, T. R.; LUDER, H. U. Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate: a randomized controlled trial. **International Endodontic Journal**, v. 42, p. 422-444, 2009.

NIKBIN, Ava; KAJAN, Zahra Dalili; TARAMSARI, Mehran; KHOSRAVIFARD, Negar. Effect of object position in the field of view and application of a metal artifact reduction algorithm on the detection of vertical root fractures on cone-beam computed tomography scans: an in vitro study. **Dentomaxillofacial Radiology**, 2018.

NOUJEIM, M.; PRIHODA, T. J.; LANGLAIS, R.; NUMMIKOSKI, P. Evaluation of high-resolution cone beam computed tomography in the detection of simulated intraradicular bone lesions. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 38, p. 156-162, 2009.

OKASHA, Hussein; ABU-SEIDA, Ahmed M.; HASHEM, Abeer A.; EL ASHRY, Samaa H.; NAGY, Mohamed M. Inflammatory response and immunohistochemical characterization of experimental calcium silicate-based perforation repair material. **International Journal of Experimental Pathology**, v. 103, n. 4, p. 153-163, 2022.

OLIVEIRA, L. F. et al. Adaptação marginal de materiais seladores endodônticos: análise por microscopia eletrônica de varredura. **RSBO**, v. 9, n. 3, p. 296-302, 2012.

PATEL, S. et al. Cone beam computed tomography in endodontics: a review. **International Endodontic Journal**, v. 52, n. 8, p. 1138-1152, 2019.

PEREIRA, E. M.; DUARTE, M. A. H.; OLIVEIRA, E. C. G.; YAMASHITA, J. C.; KUGA, M. C. Capacidade de vedamento de diversos materiais em perfurações radiculares. **Revista Brasileira de Odontologia**, v. 60, p. 349-352, 2003.

PINTO, João Carlos et al. Image quality for visualization of cracks and fine endodontic structures using 10 CBCT devices with various scanning protocols and artefact conditions. **Scientific Reports**, v. 13, 4001, 2023.

POLINENI, S.; BOLLA, N.; MANDAVA, P.; VEMURI, S.; MALLELA, M. M. Marginal adaptation of newer root canal sealers to dentin: a SEM study. **Journal of Conservative Dentistry**, v. 19, n. 6, p. 360-363, 2016.

RABELO, L. E. G. et al. Blooming artifact reduction using different cone-beam computed tomography software to analyze endodontically treated teeth with intracanal posts. **Computers in Biology and Medicine**, v. 136, 104679, 2021.

RAMAKRISHNA, K.; MURALIDHAR, K.; MUNSHI, P. Beam-hardening in simulated X-ray tomography. **NDT & E International**, v. 39, p. 449-457, 2006.

RAO, S. P.; ALFIDI, R. J. The environmental density artifact: a beam-hardening effect in computed tomography. **Radiology**, v. 141, p. 223-227, 1981.

RICUCCI, Domenico; SIQUEIRA JÚNIOR, José F.; BATE, Adrian L.; PITT FORD, Thomas R. Histologic investigation of root canal-treated teeth with apical periodontitis: a retrospective study from twenty-four patients. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 4, p. 493-502, 2009.

SAFI, Yaser; GHAZIZADEH AHSAIE, Maryam; JAFARIAN AMIRI, Mahsa. A novel technique for minimizing the metal artifacts on anterior teeth in cone-beam computed tomography. **Iranian Endodontic Journal**, 2019.

SAKAI, Yuki; KITAMOTO, Erina; OKAMURA, Kazutoshi; TATSUMI, Masato; SHIRASAKA, Takashi; MIKAYAMA, Ryoji; KONDO, Masatoshi; HAMASAKI, Hiroshi; KATO, Toyoyuki; YOSHIURA, Kazunori. Metal artefact reduction in the oral cavity using deep learning reconstruction algorithm in ultra-high-resolution computed tomography: a phantom study. **Dentomaxillofacial Radiology**, 2021.

SALINEIRO, F. C. S. et al. Accuracy of periapical radiography vs CBCT in furcation defects. **Clinical Oral Investigations**, 2016.

SALINEIRO, Fernanda Carla Salgueiro et al. Detection of furcation involvement using periapical radiography and 2 cone-beam computed tomography imaging protocols with and without a metallic post: an animal study. **Imaging Science in Dentistry**, v. 47, n. 1, p. 17-24, 2017.

SAMPAIO, F. C.; ALENCAR, A. H.; GUEDES, O. A.; VELOSO, H. H.; SANTOS, T. O.; ESTRELA, C. Chemical elements characterization of root canal sealers using scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray analysis. **Oral Health and Dental Management**, v. 13, n. 1, p. 27-34, 2014.

SANTOS, T. S. et al. Assessment of CBCT artefacts in endodontics. **Journal of Endodontics**, 2021.

SCARPATO, R. et al. Evaluation of artefacts in CBCT images. **Dentomaxillofacial Radiology**, 2020.

SCHULZE, Ralf K. W. et al. Artefacts in CBCT: a review. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 40, n. 5, p. 265-273, 2011.

SHEMESH, H. et al. Detection of root perforations using CBCT. **Journal of Endodontics**, 2010.

SILVA, R. A. et al. Análise da composição elementar de cimentos reparadores à base de silicato de cálcio por espectroscopia por dispersão de energia. **Revista Gaúcha de Odontologia**, v. 70, n. 2, p. 1-8, 2022.

SILVA ALMEIDA, Luiza Helena; MORAES, Rafael Ratto; MORGENTAL, Renata Dornelles; PAPPEN, Fernanda Geraldo. Are premixed calcium silicate-based

endodontic sealers comparable to conventional materials? A systematic review of in vitro studies. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 4, p. 527-535, 2017.

SUGAYA, K. et al. Root canal sealers affect artifacts on cone-beam computed tomography images. **Odontology**, v. 109, n. 3, p. 679-686, 2021.

TOFANGCHIHA, Maryam; BOLBOLIAN, Marjan; RAHROVAN, Sahar; MIRZADEH, Monirsadat; HAJIHASSANI, Neda. Cone-beam computed tomographic evaluation of artifact effects of three different sealers. **Iranian Endodontic Journal**, 2018.

TOIA, Camila C.; TEIXEIRA, Frederico B.; CUCCO, Caroline; VALERA, Marcia C.; CAVALCANTI, Bruno N. Volumetric evaluation of voids and gaps of different calcium-silicate based materials used in furcal perforations: a micro-CT study. **Dentistry Journal**, v. 10, n. 3, 41, 2022.

TORABINEJAD, M.; CHIVIAN, N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. **Journal of Endodontics**, v. 25, n. 3, p. 197-205, 1999.

TSESIS, I.; FUSS, Z. Diagnosis and treatment of accidental root perforations. **Endodontic Topics**, v. 13, p. 95-107, 2006.

VANDERTOOGHELTF, S.; RADENKOVIC, S.; NIKOLIC, M. Comparative evaluation of marginal adaptation of Biodentine and other root-end filling materials – an in vitro study. **International Endodontic Journal**, v. 50, n. 4, p. 321-327, 2017.

VASCONCELOS, Karla de Faria et al. Artefact expression associated with several cone-beam computed tomographic machines when imaging root filled teeth. **International Endodontic Journal**, v. 48, n. 10, p. 994-1000, 2015.

WANDERLEY, M. T. et al. Influence of artefact reduction filters in CBCT images. **Clinical Oral Investigations**, 2022.

WUCHERPFENING, A. L.; GREEN, D. B. Mineral Trioxide vs Portland cement: two biocompatible filling materials. **Journal of Endodontics**, v. 25, p. 308, 1999.

YOUNG, S. M. et al. Influence of artefacts on CBCT diagnostic accuracy. **Oral Radiology**, 2021.



Unievangelica
UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA ADAPTAÇÃO MARGINAL E DA REDUÇÃO DO ARTEFATO DE
CONTRASTE DE BRANCO EM IMAGENS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA
DE FEIXE CÔNICO DE DENTES COM MATERIAIS SELADORES DE
PERFURAÇÃO DA REGIÃO DE FURCA

Alline Soares Vaz

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Universidade Evangélica de Goiás como requisito parcial à obtenção do grau de **MESTRE**.

APROVADO EM 30 DE MARÇO DE 2026.

**LINHA DE PESQUISA: Técnicas, Materiais e Substâncias de Aplicação
Clínica e Laboratorial em Odontologia**

BANCA EXAMINADORA

O Dr. Orlando Aguirre Guedes

EI Dr. Helder Fernandes de Oliveira

EE Dr. Gustavo Silva Chaves

Orlando Aguirre Guedes

Helder Fernandes de Oliveira

Gustavo Silva Chaves

O: Orientador(Presidente); EI: Examinador Interno; EE: Examinador Externo