

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE RIBEIRÃO PRETO**

ANGELO JOSÉ SÓCRATES TORRES CARRILLO

**Avaliação de diferentes técnicas e materiais para obturação em réplicas
3D impressas de dentes com reabsorção interna perfurante por meio de
microtomografia computadorizada**

Ribeirão Preto

2023

ANGELO JOSÉ SÓCRATES TORRES CARRILLO

Avaliação de diferentes técnicas e materiais para obturação em réplicas 3D impressas de dentes com reabsorção interna perfurante por meio de microtomografia computadorizada

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo para a obtenção do Título de Mestre em Ciências – Programa: Odontologia Restauradora – Área de concentração: Odontologia Restauradora (Opção: Endodontia).

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiane Carneiro Lopes Olhê

Ribeirão Preto

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Assinatura do autor: _____

Data: ____/____/2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Carrillo, Angelo José Sócrates Torres

Avaliação de diferentes técnicas e materiais para obturação em réplicas 3D impressas de dentes com reabsorção interna perfurante por meio de microtomografia computadorizada.

92p.: il.; 30 cm

Dissertação de Mestrado apresentada na Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FORP-USP), área de concentração: Odontologia Restauradora - opção Endodontia. A versão original se encontra disponível na Unidade que aloja o Programa.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiane Carneiro Lopes Olhê

1. Reabsorção da raiz.
2. Microtomografia por raio-x.
3. Obturação do canal radicular.

FOLHA DE APROVAÇÃO

CARRILLO, A. J. S. T. **Avaliação de diferentes técnicas e materiais para obturação em réplicas 3D impressas de dentes com reabsorção interna perfurante por meio de microtomografia computadorizada.** 2023. 93p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2023.

Aprovado em: ____/____/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Fabiane Carneiro Lopes Olhê (Orientadora)

Instituição: Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto/USP

Assinatura: _____

Prof(a) Dr(a): _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof(a) Dr(a): _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof(a) Dr(a): _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____



Este trabalho de pesquisa foi realizado no Laboratório de Pesquisa em Endodontia do Departamento de Odontologia Restauradora da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

Dedicatória



A **Dios**, por las experiencias vividas y los momentos de crecimiento personal y espiritual.

A mis queridos padres, **Estela Carrillo Arce** y **Angel Torres Millones**, por darme la vida y principalmente por ser mis mayores ejemplos. Gracias por su amor incondicional, preocupación, consejos, oraciones y palabras de apoyo. Ustedes son los únicos responsables por todo lo que soy. Las palabras nunca serán suficientes para resumir mi amor por ustedes.

A mis hermanas **Sandra Torres Carrillo**, **Lady Torres Carrillo** y **Flor de Liz Torres Carrillo**, por ser mis compañeras y amigas. Les agradezco las experiencias y situaciones compartidas y sobre todo por el apoyo incondicional en estos dos últimos años. ¡No sabría vivir sin ustedes!

¡Gratitud eterna!

A **Deus**, pelas experiências que tive e pelos momentos de crescimento pessoal e espiritual.

Aos meus queridos pais, **Estela Carrillo Arce** e **Angel Torres Millones**, por me darem a vida e principalmente por serem meus maiores exemplos. Obrigado pelo amor incondicional, pela preocupação, pelos conselhos, orações e palavras de apoio. Vocês são inteiramente responsáveis por tudo o que sou. As palavras nunca serão suficientes para resumir meu amor por vocês.

Às minhas irmãs **Sandra Torres Carrillo**, **Lady Torres Carrillo** e **Flor de Liz Torres Carrillo**, por serem minhas companheiras e amigas. Agradeço pelas experiências e situações compartilhadas e, acima de tudo, por todo apoio incondicional nestes últimos dois anos. Eu não saberia como viver sem vocês!

Gratidão eterna!

Agradecimentos



À minha orientadora, **Prof^a. Dr^a. Fabiane Carneiro Lopes Olhê**, exemplo de delicadeza e gentileza. Obrigado pela paciência e dedicação que teve comigo, não apenas na realização deste trabalho, mas durante todo o Mestrado. Serei eternamente grato pelos ensinamentos transmitidos e principalmente pelos exemplos de compreensão, luta, inteligência e competência em cada momento.

Ao **Prof. Dr. Manoel Damião de Sousa Neto**, exemplo de professor e pesquisador, pela oportunidade e principalmente pela confiança. Obrigado por acreditar em mim e por me dar grandes oportunidades. Sou muito grato por ter me possibilitado trabalhar na especialidade que tanto amo e permitido conviver com uma mente brilhante como a sua.

Ao **Prof. Dr. Rodrigo Ernesto Salazar Gamarra**, colega peruano que atua como diretor do Instituto Mais Identidade (+ID) em São Paulo. Muito obrigado por sua ajuda constante na idealização do trabalho e pelos ensinamentos transmitidos.

Ao **Prof. Dr. Jardel Francisco Mazzi Chaves**, que esteve sempre tão atento às minhas dúvidas e questionamentos no laboratório. Obrigado por sua amizade, encorajamento, profissionalismo e por todo conhecimento compartilhado.

À **Prof^a. Dr^a. Priscilla Barbosa Ferreira Soares**, professora de Periodontia e Implantodontia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia (FOUFU), pela disponibilidade, pela forma como me recebeu durante minha estadia na FOUFU.

À **Dr^a. Juliana Jendiroba Faraoni**, técnica do Departamento de Odontologia Restauradora, pela paciência e pelo carinho com o qual sempre me recebeu na sala do Microscópio Confocal de Varredura a Laser.

Aos professores do Departamento de Odontologia Restauradora, **Prof. Dr. Antonio Miranda da Cruz Filho e Prof. Dr. Ricardo Novak Savioli**, agradeço imensamente pela amizade e por terem colaborado na minha formação.

À minha colega da pós-graduação **Helena Cristina de Assis**, amiga que a vida me presenteou, parceira de trabalho e inspiração. Sou grato por ter me encorajado na idealização do projeto desde o primeiro dia, por ter me incentivado durante o curso e acolhido quando quase esmoreci. Obrigado por aceitar contribuir com competência nessa dissertação e pelos diálogos motivadores.

Aos meus queridos irmãos da pós-graduação, por terem melhorado meus dias no Brasil. Vocês me inspiram, motivam e são pessoas que eu quero para a vida.

À **Diana Codas Duarte**, pela sua preocupação em momentos de fraqueza. Seu jeito transparente, seguro, forte e sonhador me inspirou muito. Você tem um coração muito grande como o de nosso Senhor Jesus.

À **Gabriela Gavilán Hadid**, por ser meu maior exemplo de superação, persistência e disciplina. A admiro muito e tenho a certeza de que para onde você for, irá superar qualquer obstáculo à sua frente.

À **Karen Garay Villamayor**, você é uma pessoa muito querida e tem um coração enorme. Sua humildade e simplicidade são tão boas quanto sua bondade e empatia. Eu confio muito em você!

Ao **Lautaro Gallardo Altube**, pelos conselhos em todos os momentos e pelas discussões diárias. Seu ímpeto, rebeldia e busca por perfeição o conduzirão à excelência.

Ao **Leonardo Moreira Teodosio**, brasileiro que se tornou peruano em muitas ocasiões. Amigo, nunca perca seu espírito de criança! Seu entusiasmo e seu júbilo o levarão muito longe.

À **Tamara Justiniano Cronenbold**, por sua paciência, carisma e dedicação ao fazer suas tarefas. Isso sempre me lembra de como é importante trabalhar nos detalhes em nossa querida especialidade.

Aos colegas amigos da pós-graduação **Alex Moreira Mélo, Alice Corrêa Silva Sousa, Camila Imperador Rodrigues Alves, Guilherme Nilson Alves dos Santos, Gunther Ricardo Bertolini, Gustavo Lizarelli, Heitor Silva Prado, Iago Ramirez, Igor Bassi Ferreira Petean, Jeneffer Vieira Rodriguez, Leticia Gambarini, Miguel Angel Molina Ventura, Nathália Mancioffi Cerqueira, Poliana Santos Gonçalves, Rafael Verardino de Camargo, Rui Pereira da Costa, Sérgio André Quaresma, Thais Oliveira Alves, Vinicius Leite Rosa e Silva, Vítor Luís Ribeiro, e Vitória Leite Pashcoini**, muito obrigado pela convivência e aprendizado. Guardo muitas lembranças de cada um de vocês com muito carinho. Desejo muito sucesso a todos.

A todos os alunos de graduação da **95ª Turma de Odontologia da FORP-USP** pela amizade e momentos de descontração.

Ao **Reginaldo Santana da Silva**, pela amizade, simpatia e disponibilidade que transformaram de forma amena as horas de trabalho em momentos produtivos. Obrigado por tudo.

Ao **Carlos Feitosa dos Santos**, pelo profissionalismo, gentileza e atenção presentes em todos os momentos. Você se tornou um amigo.

Aos funcionários, **Fred Augusto Batista Farias, Maria Amália Viesti de Oliveira Motta, Maria Isabel Cesário Francisco Miguel, Mauro Henrique Leoni Bernardo, Patrícia Marchi**, pela convivência e amizade, e por estarem prontos a ajudar sempre que necessário.

À **CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**, pela concessão da bolsa de Mestrado.

À **Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto**, especialmente à área de Endodontia, por ter me dado a oportunidade de fazer o Mestrado na instituição. Ser aluno da USP foi um dos objetivos que estabeleci para minha vida acadêmica e estou feliz por tê-lo realizado.

*“Todos os homens morrem um dia, mas nem
todos realmente vivem”*

William Wallace

Resumo



CARRILLO, A. J. S. T. **Avaliação de diferentes técnicas e materiais para obturação em réplicas 3D impressas de dentes com reabsorção interna perfurante por meio de microtomografia computadorizada.** 2023, 92p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2023.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de preenchimento de duas técnicas de obturação em dentes impressos com reabsorção interna perfurante (RIP). Inicialmente, a partir de um incisivo central superior humano hígido, foi realizado um escaneado por microtomografia computadorizada (micro-CT) para aquisição de um modelo 3D no formato estereolitográfico (.stl). Em seguida, a etapa de modelagem foi realizada com o auxílio do software Blender, no qual foi desenhada uma reabsorção interna perfurante no terço médio do canal radicular. A partir do desenho final obtido, foram impressas 33 réplicas em resina cirúrgica que foram distribuídas em 4 grupos de acordo com a técnica de preenchimento e material utilizado (n= 8): GI - técnica híbrida com Bio-C Sealer/guta-percha + Bio-C Repair, GII - técnica híbrida com BioRoot/guta-percha + Biodentine, GIII - técnica incremental com condensador manual e Bio-C Repair, GIV - técnica incremental com condensador manual e Biodentine. Foi realizada micro-CT pós-obturação, para mensurar o volume percentual de espaços vazios, e microscopia confocal a laser para mensurar a rugosidade da superfície dos cimentos reparadores (Bio-C Repair e Biodentine). Os dados foram comparados por testes ANOVA e Kruskal-Wallis. No terço apical, os grupos GI (89,70±5,15), GII (87,70±8,43) e GIII (84,20±9,00) mostraram as maiores porcentagens de volume de preenchimento em relação ao GIV (69,70±6,88) (P<0,05). Na área de reabsorção interna os grupos GI (96,00±2,64) e GIII (95,30±2,93) apresentaram as maiores porcentagens de volume de preenchimento em relação ao GII (91,50±1,35), sendo que o GIV (92,60±3,39) apresentou resultados hora semelhantes ao GI e GII e hora semelhante ao GIV (P<0,05). Quanto à qualidade do preenchimento na área de perfuração, o cimento Bio-C Repair apresentou melhores resultados quando comparado ao cimento Biodentine (P<0,001). Quanto à rugosidade, o cimento Bio-C Repair (1,66±0,65) apresentou menor rugosidade superficial em relação ao cimento Biodentine (2,51±0,89) (P<0,05). A capacidade de preenchimento e qualidade da obturação em dentes com reabsorção interna perfurante foi superior com a técnica incremental com Bio-C Repair e híbrida com Bio-C Sealer/guta-percha + Bio-C Repair.

Palavras chaves: reabsorção da raiz, microtomografia por raio-x, obturação do canal radicular.

Abstract



CARRILLO, A. J. S. T. **Evaluation of different techniques and materials for filling in 3D printed replicas of teeth with perforating internal resorption by means of microcomputed tomography.** 2023, 92p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2023.

The present study aims to evaluate the filling ability of two filling techniques in teeth impressed with perforating internal resorption (RIP). A healthy human maxillary central incisor was instrumented to an apical diameter of 600 μm and scanned by microcomputed tomography (micro-CT). The 3D model was reconstructed in stereolithographic (.stl) format and, with the aid of Blender software, a perforating internal resorption in the middle third of the root canal was designed. Thirty-three replicas were printed in surgical resin and distributed in 4 groups according to the filling technique and material used ($n= 8$): GI- incremental technique with manual condenser and Bio-C Repair, GII- hybrid technique with Bio-C Sealer/gutta-percha + Bio-C Repair, GIII- incremental technique with manual condenser and Biodentine, GIV- hybrid technique with BioRoot/gutta-percha + Biodentine. Post-obturation micro-CT was performed to measure the percentage volume of voids, and laser confocal microscopy was used to measure the surface roughness of the repair cements (Bio-C Repair and Biodentine). Data were compared using ANOVA and Kruskal-Wallis tests. In the apical third, groups GI (89.70 ± 5.15), GII (87.70 ± 8.43) and GIII (84.20 ± 9.00) showed the highest percentages of filling volume compared to GIV (69.70 ± 6.88) ($P<0.05$). In the area of internal resorption, groups GI (96.00 ± 2.64) and GIII (95.3 ± 2.93) showed the highest percentages of filling volume compared to GII (91.50 ± 1.35), and GIV (92.60 ± 3.39) showed results similar to GI and GII and similar to GIV ($P<0.05$). As for the quality of the filling in the drilled area, Bio-C Repair cement showed better filling capacity when compared to Biodentine cement ($P<0.001$). Regarding roughness, Bio-C Repair (1.66 ± 0.65) cement showed lower surface roughness compared to Biodentine cement (2.51 ± 0.89) ($P<0.05$). The filling capacity and quality of the filling in teeth with perforating internal resorption was superior with the incremental technique with Bio-C Repair and hybrid technique with Bio-C Sealer/gutta-percha + Bio-C Repair.

Key words: root resorption, x-ray micro tomography, root canal obturation.

Sumário



SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO	19
PROPOSIÇÃO	26
MATERIAIS E MÉTODOS	28
Escaneamento microtomográfico inicial.....	31
Desenho da reabsorção interna perfurante	33
Impressão tridimensional dos dentes em resina.....	38
Simulação dos tecidos periodontais.....	41
Distribuição das amostras em grupos experimentais	43
Escaneamento microtomográfico pós-obturaçã.....	51
Análise da morfologia e da rugosidade superficial por meio de Microscopia Confocal de Varredura a Laser (MCVL)	58
Análise Estatística	61
RESULTADOS.....	63
Avaliação quantitativa do volume de preenchimento da área de reabsorção interna por microtomografia computadorizada	64
Avaliação quantitativa do volume de preenchimento do terço apical por meio de microtomografia computadorizada	64
Avaliação quali-quantitativa do grau de preenchimento da região de perfuração.....	65
Avaliação quantitativa da rugosidade superficial dos cimentos reparadores na área da perfuração...	67
Avaliação quali-quantitativa da rugosidade superficial dos cimentos reparadores	67
DISCUSSÃO	70
CONCLUSÕES	78
REFERÊNCIAS	80
ANEXO.....	89

Introdução



A reabsorção radicular interna é oriunda de uma reação de origem inflamatória, que resulta da destruição progressiva da dentina radicular em decorrência de interações odontoclásticas (SANA EI-RAD et al., 2021; ABBOTT; LIN, 2022; LOPES-OLHÊ et al., 2022; PATEL et al., 2022). É iniciada por danos à camada de odontoblastos e de pré-dentina não mineralizada (LINDSKOG, 1985; WEDENBERG; LINDSKOG, 1987; TROPE, 1998), o que resulta na exposição da dentina mineralizada ao tecido pulpar, migração de odontoclastos para o local da lesão e reabsorção das paredes do canal radicular (PATEL et al., 2023). Acomete inicialmente a polpa dentária e, se não tratada, progride lateralmente em direção à dentina e posteriormente ao cimento radicular, podendo resultar na perfuração da parede do canal radicular, e conseqüentemente na comunicação da câmara pulpar com o ligamento periodontal e o osso alveolar (TRONSTAD, 1988; CALIŞKAN; TÜRKÜN, 1997; PEREIRA DA COSTA et al., 2020; PATEL et al., 2022).

Sua etiologia não está totalmente estabelecida, entretanto, o trauma dental é o principal fator relacionado ao desenvolvimento das reabsorções internas (ANDREASEN, 1970; CALIŞKAN; TÜRKÜN, 1997; NILSSON et al., 2013; LIU et al., 2021). Outros fatores como cárie dentária (GABOR et al., 2012), infecção periodontal (RABINOWITCH, 1972; CALIŞKAN; TÜRKÜN, 1997), calor excessivo durante procedimentos restauradores em dentes com polpas vitais (RABINOWITCH, 1972), clareamento dental (FRIEDMAN et al., 1988; HEITHERSAY, 1999; VELLOSO et al., 2017), tratamento ortodôntico (HEITHERSAY, 1999; SILVEIRA et al., 2009), e trincas (WALTON; LEONARD, 1986) podem estar relacionados à essa patologia, sendo que, recentemente, foi também relacionada com a anomalia de desenvolvimento do tipo *dens invaginatus* (PÉREZ-ALFAYATE; MERCADÉ; VERA, 2020).

A reabsorção radicular inflamatória interna pode ainda ser estimulada por bactérias da polpa coronal necrótica sendo então nutrida pelo tecido pulpar vital apical à reabsorção (WEDENBERG; LINDSKOG, 1987; TRONSTAD, 1988; PATEL et al., 2010; AIDOS; DIOGO; SANTOS, 2018). Nestes casos, à medida que a infecção avança progressivamente em direção à extremidade apical do dente (ABBOTT; LIN, 2022), o resultado é a necrose do tecido pulpar, com consequente interrupção do suprimento sanguíneo no interior da reabsorção e inativação dos odontoclastos, interrompendo então o processo de reabsorção (WEDENBERG, 1987; PATEL et al., 2010; ABBOTT; LIN, 2022).

Por se tratar de uma patologia assintomática, na maioria das vezes o diagnóstico é realizado por meio de exames radiográficos de rotina (HAAPASALO; ENDAL, 2006; PEREIRA DA COSTA et al., 2020), sendo que os sintomas clínicos variam dependendo do estágio do processo de reabsorção. Nos estágios iniciais e ativos, geralmente não há sinais ou sintomas, o que dificulta o diagnóstico precoce (ABBOTT; LIN, 2022; PATEL et al., 2022). Durante a evolução da reabsorção, os dentes acometidos podem apresentar sinais de pulpíte reversível ou irreversível (PATEL et al., 2018). Já em casos em que a doença caminha para necrose pulpar, pode haver sintomas de periodontite apical sintomática, trato sinusal sugerindo abscesso periapical crônico, sensibilidade à palpação e à percussão (PATEL et al., 2018; ABBOTT; LIN, 2022).

Radiograficamente, a reabsorção radicular interna se apresenta como uma radiolucência de formato oval ou circular que se inicia a partir do canal radicular, alterando o seu contorno original (GARTNER et al., 1976). Como as radiografias convencionais fornecem imagem bidimensional, elas não são precisas para determinar a natureza e dimensão das reabsorções (PATEL et al., 2007; BHUVA;

BARNES; PATEL, 2011). Estudos indicam que a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) fornece informações relevantes adicionais sobre a localização e a natureza das reabsorções radiculares internas quando comparado com as radiografias convencionais, facilitando o diagnóstico e o planejamento do tratamento (PATEL et al., 2009; EE; FAYAD; JOHNSON, 2014; MADANI et al., 2016). BHUVA et al. (2011), em relato de caso, destaca que a TCFC auxilia na distinção entre reabsorção interna da externa, bem como na identificação da extensão e verificação da presença de comunicação da área de reabsorção com os tecidos periapicais, sendo que, para essa finalidade, recomenda-se um campo de visão (FOV) pequeno e de alta resolução (AAE, 2015; PATEL et al., 2019).

Uma vez diagnosticada a reabsorção interna perfurante o tratamento endodôntico é indicado (KÜÇÜKKAYA EREN et al., 2019; PATEL et al., 2022). Após a realização do preparo biomecânico, a etapa de obturação deve preencher tridimensionalmente o sistema de canais radiculares e a área da reabsorção interna perfurante, evitando-se *gaps* e lacunas entre o material obturador e à parede dentinária (SIEW, LEE, CHEUNG, 2015), com materiais que além de propriedades biológicas, também apresentem propriedades bioativas, com o objetivo estimular a cicatrização quando em contato com os tecidos periapicais (ESTRELA et al., 2023; SAMPAIO et al., 2023; SILVA et al., 2023), formar precipitados à base de cálcio e fosfato, favorecer a remineralização de tecidos duros (TEZVERGIL-MUTLUAY et al., 2017), além de apresentar atividade antibacteriana (SAMPALIO et al., 2023).

O MTA por muitos anos foi defendido como um material padrão ouro (TORABINEJAD; WATSON; PITT FORD, 1993) para o reparo de perfurações e demais situações clínicas em que há áreas de comunicação entre o sistema de canais radiculares e tecidos periapicais devido as suas propriedades biológicas

favoráveis. No entanto, desvantagens como o difícil manuseio, baixa radiopacidade, longo tempo de presa e alteração de cor da coroa dentária (BER; HATTON; STEWART, 2007; VALLÉS et al., 2015) levaram ao desenvolvimento de cimentos hidráulicos à base de silicato de cálcio (DRUKTEINIS, 2021). Estes cimentos interagem com o sangue e os fluidos perirradiculares (SCHEMBRI-WISMAYER; CAMILLERI, 2017), possuem propriedades físico-químicas favoráveis, como selamento satisfatório e biocompatibilidade, associada a propriedades de bioatividade e osteoindutoras, o que pode favorecer a regeneração ou reparo do tecido periodontal (HAKKI et al., 2009; PARIROKH; TORABINEJAD, 2010; DAWOOD et al., 2017).

Embora ainda não haja um consenso, grande parte dos estudos sugerem que os dentes com reabsorções internas sejam preenchidos com cones de guta percha e cimento obturador por meio de técnicas termoplásticas (KÜÇÜKKAYA et al., 2019; SANAEI-RAD et al., 2021; PATEL et al., 2022). Porém nos casos em que há presença de perfuração na parede da reabsorção, a técnica de obturação híbrida é a mais indicada (HSIEN et al., 2003; JACOBOVITZ; DE LIMA, 2008; CAMILLERI, 2021; PATEL et al., 2022). Nesta técnica, o canal radicular apical à reabsorção é preenchido com guta-percha e cimento obturador, enquanto a área da reabsorção interna é selada com cimento hidráulico reparador (BHUVA et al., 2011; TEK; TÜRKER, 2019; CAMILLERI, 2021; PATEL et al., 2022). A técnica incremental pode também ser indicada com cimentos reparadores de silicato de cálcio, na qual todo o canal radicular e a área da reabsorção são preenchidos com cimento reparador de silicato de cálcio com auxílio de condensadores manuais (KÜÇÜKKAYA et al., 2019; CAMILLERI, 2021).

Clinicamente, o processo de reabsorção interna perforante resulta em uma cavidade com limites irregulares (PATEL et al., 2010), e por ocorrer da polpa em direção à superfície externa do dente, apresenta, muitas vezes, grande volume interno de tecido dentinário perdido e uma pequena área de comunicação com os tecidos periapicais. Com isso, para avaliação da obturação de dentes com reabsorção interna, os estudos prévios realizados *in vitro* simularam as cavidades com brocas ou ácidos, a partir da superfície externa da raiz ou a partir da face interna após a clivagem da amostra (KELES et al., 2014; TOPÇUOGLU et al., 2015; DA SILVEIRA et al., 2014; KÜÇÜKKAYA et al., 2019; YAZDI et al., 2018), entretanto, a técnica inviabiliza a reprodução do desenho final da cavidade de forma semelhante às situações clínicas, além de dificultar a padronização da cavidade realizada entre as amostras.

Por outro lado, para a avaliação de técnicas e materiais obturadores, estudos de GOK et al. (2017); KARATEKIN; KELEŞ; GENCOGLU (2019); ZHANG et al. (2021); KOOANANTKUL; SHELTON; CAMILLERI (2023) propuseram o uso de réplicas impressas em 3D com base em modelos tridimensionais de dentes humanos produzidos a partir de imagens obtidas em microtomografia computadorizada (microCT), demonstrando a possibilidade proporcionar padronização e rapidez na obtenção de espécimes, além de permitir a reprodução fiel da anatomia interna do sistema de canais radiculares. De acordo com DE-DEUS et al. (2022), o aprimoramento das metodologias na avaliação de técnicas obturadoras deve incorporar o uso de réplicas impressas em 3D obtidas a partir de imagens de microCT em canais de dentes humanos previamente ampliados.

Assim, considerando a dificuldade de padronização das amostras nos estudos prévios que avaliaram técnicas ou materiais para obturação de dentes com

reabsorção interna (KAMBUROĞLU; KURSUN, 2010; TOPÇUOĞLU et al., 2015; KELES; AHMETOGLU; UZUN, 2014; KÜÇÜKKAYA et al., 2019), bem como a proposta de uso de réplicas tridimensionais impressas a partir de imagens de dentes humanos obtidas por meio de microCT que permitem a padronização das amostras (ORDINOLA et al., 2014; DAWOOD et al., 2016; CUI et al., 2018; KARATEKIN; KELEŞ; GENCOGLU, 2019; REYMUS et al., 2019; DE-DEUS et al., 2022; KOOANANTKUL; SHELTON; CAMILLERI, 2023), torna-se oportuno o desenvolvimento de réplicas tridimensionais impressas para simulação de reabsorção interna perfurante para o estudo das técnicas de obturação híbrida e incremental realizadas com diferentes cimentos de silicato de cálcio.

As hipóteses nulas testadas foram: 1. Não há diferença significativa entre as técnicas de obturação híbrida e incremental no volume de preenchimento da área de reabsorção interna e do terço apical. 2. Não há diferença significativa entre os cimentos reparadores Bio-C Repair e Biodentine no grau de preenchimento da área de perfuração. 3. Não há diferença significativa na rugosidade da superfície dos cimentos reparadores Bio-C Repair e Biodentine na área da perfuração.

Proposição



O objetivo do presente estudo foi avaliar a obturação realizada por meio de diferentes técnicas e materiais obturadores (Bio-C Sealer, Bio-C Repair, BioRoot RCS e Biodentine), em réplicas 3D impressas de incisivos superiores com reabsorção interna perfurante, em relação:

- Ao volume de preenchimento da reabsorção interna e do terço apical, por meio de microtomografia computadorizada (microCT);
- À análise qualitativa do grau de preenchimento na área da perfuração, por meio de microtomografia computadorizada (microCT);
- À análise quantitativa e qualitativa da rugosidade da superfície dos cimentos reparadores na área da perfuração, por meio de microscopia confocal de varredura a laser (MCVL).

Materiais e Métodos



Após aprovação do projeto de pesquisa do presente estudo pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo (FORP-USP), processo nº 0072.0.138.000-09 (Anexo 1), foi obtido, junto ao Banco de Dentes da FORP/USP, um incisivo central superior (Figura 1A) recém extraído por razões periodontais mantido em solução de timol a 0,1%.

O dente foi lavado em água corrente por 24 horas e, em seguida, teve sua superfície radicular externa limpa por meio de raspagem com ultrassom (Profi II Ceramic, Dabi Atlante Ltda, Ribeirão Preto, SP, Brasil). Em seguida, o dente foi examinado macroscopicamente e radiografado (Spectro 70X Eletronic, Dabi Atlante, Ribeirão Preto, São Paulo) nos sentidos orto e mesiorradial (Figuras 1B e 1C) utilizando uma placa intraoral de fósforo (Eagle PS, Dabi Atlante, Ribeirão Preto, São Paulo) com o objetivo de confirmar se o dente estava de acordo com os seguintes critérios: raiz reta e completamente formada, canal único, sem calcificações, reabsorções, restaurações ou trincas.



Figura 1. Seleção do dente: (A) Incisivo central superior; (B) Radiografia ortorradial; (C) Radiografia mesiorradial.

O acesso à câmara pulpar foi realizado com broca esférica nº 1 (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) sob alta rotação e refrigeração constante. Após o acesso, o canal radicular foi inicialmente irrigado com 2 mL de hipoclorito de sódio

(NaOCl) a 1% com seringa plástica descartável (Ultradent, South Jordan, UT, EUA) e agulha NaviTip de diâmetro 0,30 mm (Ultradent, South Jordan, UT, EUA). Foi realizada a exploração do canal radicular com lima tipo K #15 de aço inoxidável (Dentsply Maillefer, Petrópolis, RJ, Brasil), até que sua ponta fosse observada, com auxílio de magnificação com microscópio cirúrgico (Opto Novus, São Carlos, SP, Brasil), e coincidissem com o forame apical, alcançando o comprimento real do dente. Desta medida foi subtraído 1,0 mm para o estabelecimento do comprimento de trabalho (CT) em 24 mm.

O preparo biomecânico foi realizado pela técnica de instrumentação por movimento recíprocante com o instrumento Reciproc 50.05 (VDW GmbH, Munique, Alemanha), que foi acoplado ao contra ângulo redutor 6:1 MF6 (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça) conectado ao motor elétrico X-Smart Plus (Dentsply Sirona, Ballaigues, Suíça). O instrumento foi utilizado de forma passiva, com movimentos de bicada e a cada 3 avanços, foi retirado do canal e limpo com gaze, até atingir o CT. Na sequência, foi realizada a complementação da instrumentação com técnica manual até a lima tipo K #60 (Dentsply Maillefer, Petrópolis, RJ, Brasil). A cada retirada do instrumento, foi realizada irrigação copiosa com NaOCl a 1%, aspiração e inundação dos canais com seringa plástica descartável e agulha NaviTip.

Após a instrumentação, foi realizada a irrigação final com 2 mL de ácido etilendiaminotetracético a 17% (EDTA) (Biodinâmica, Ibiporã, PR, Brasil), por 5 minutos, seguido de irrigação com 5 mL de NaOCl a 1%. A secagem do canal foi realizada inicialmente com cânula de aspiração Capillary Tip (Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, EUA) seguido do uso de cones de papel absorvente #60 (Dentsply Maillefer, Petrópolis, RJ, Brasil).

Escaneamento microtomográfico inicial

Após o preparo biomecânico, o dente foi escaneado utilizando o microtomógrafo computadorizado SkyScan 1174 (SkyScan 1174 v2, Bruker-microCT, Kontich, Bélgica) (Figura 2A) do Laboratório de Pesquisa em Endodontia do Departamento de Odontologia Restauradora da FORP-USP. Para isso, um suporte de silicone foi adaptado a uma haste metálica e posicionado na mesa giratória no interior do microtomógrafo, e posteriormente, o espécime foi fixado no interior do suporte, com a face vestibular posicionada para fonte de radiação do microCT. Essa metodologia assegura o posicionamento do dente de forma perpendicular à fonte de radiação durante o escaneamento, reduzindo-se assim a possibilidade de distorção e formação de artefatos de imagem (Figura 2B).

Após a confirmação do posicionamento do dente, deu-se início ao escaneamento utilizando os seguintes parâmetros energéticos de aquisição: 50 kVp, 800 μ A, resolução isotrópica de 26,97 μ m, 360° de rotação em torno do eixo vertical com passo de rotação de 0,7°, quantidade total de 1 quadro (*frame*), com filtro de alumínio de 0,5 mm de espessura. A partir dos parâmetros selecionados (Anexo 2), foi estabelecido um tempo de escaneamento médio de 53 minutos. As projeções bidimensionais das imagens geradas foram arquivadas no formato *Tagged Image File* (TIFF).

A partir das 514 projeções bidimensionais obtidas após o escaneamento, deu-se início às reconstruções axiais, por meio do algoritmo de reconstrução de *Feldkamp* modificado, usando o programa *NRecon* v.1.6.6.0 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica) (Anexo 3). Foi aplicada ferramenta de redução de artefatos em forma de anel (*Ring Artifact*) no valor de 4 (escala de 0-10), de endurecimento de feixe (*Beam Hardening*) no percentual de 40% (escala de 0-100%), de suavização

(*Smoothing*) no valor de 4 (escala de 0-10). O histograma de contraste das imagens apresentou escala variando de 0,022 a 0,12. Em seguida, as secções axiais reconstruídas foram salvas em formato *Bitmap* (.bmp).

Após a reconstrução, realizou-se a binarização para o processamento e análise das imagens com auxílio do programa CTAn v.1.18.8.0+ (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica), o que consistiu, inicialmente, na utilização de operações matemáticas, por meio do método automático de Otsu, em que foi possível dividir a imagem em regiões, reconhecendo-as como objetos independentes uns dos outros e do fundo. Esse processo foi realizado separadamente para esmalte, dentina e canal radicular.

Em seguida, após a binarização, no programa CTAn v.1.18.8.0+ (Bruker microCT, Kontich, Bélgica), foi gerado o modelo tridimensional do espécime por meio do algoritmo *double time cubes*, no formato STL e, a partir do programa CTVol v.2.3.2.1 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica) foi feita a visualização realista do modelo tridimensional para posterior desenho da reabsorção perfurante.



Figura 2. Escaneamento pré-operatório: (A) Microtomógrafo SkyScan 1174; (B) Posicionamento do dente no suporte no interior da câmara do microtomógrafo.

Desenho da reabsorção interna perfurante

Para o desenho da reabsorção interna perfurante foi utilizada a extensão OrtogOnBlender (Cícero Moraes, Sinop, Brasil) do programa de modelagem 3D (CAD) Blender® (Blender Foundation, Amsterdam, Países Baixos) para arquivos STL. Ao iniciar o programa, foi criado um arquivo selecionando o modo Geral (Figura 3A). O arquivo STL do dente escaneado foi importado de sua pasta de origem (Figura 3B) e foi obtido a reprodução 3D do dente não alinhado em seu eixo vertical (Figura 3C).

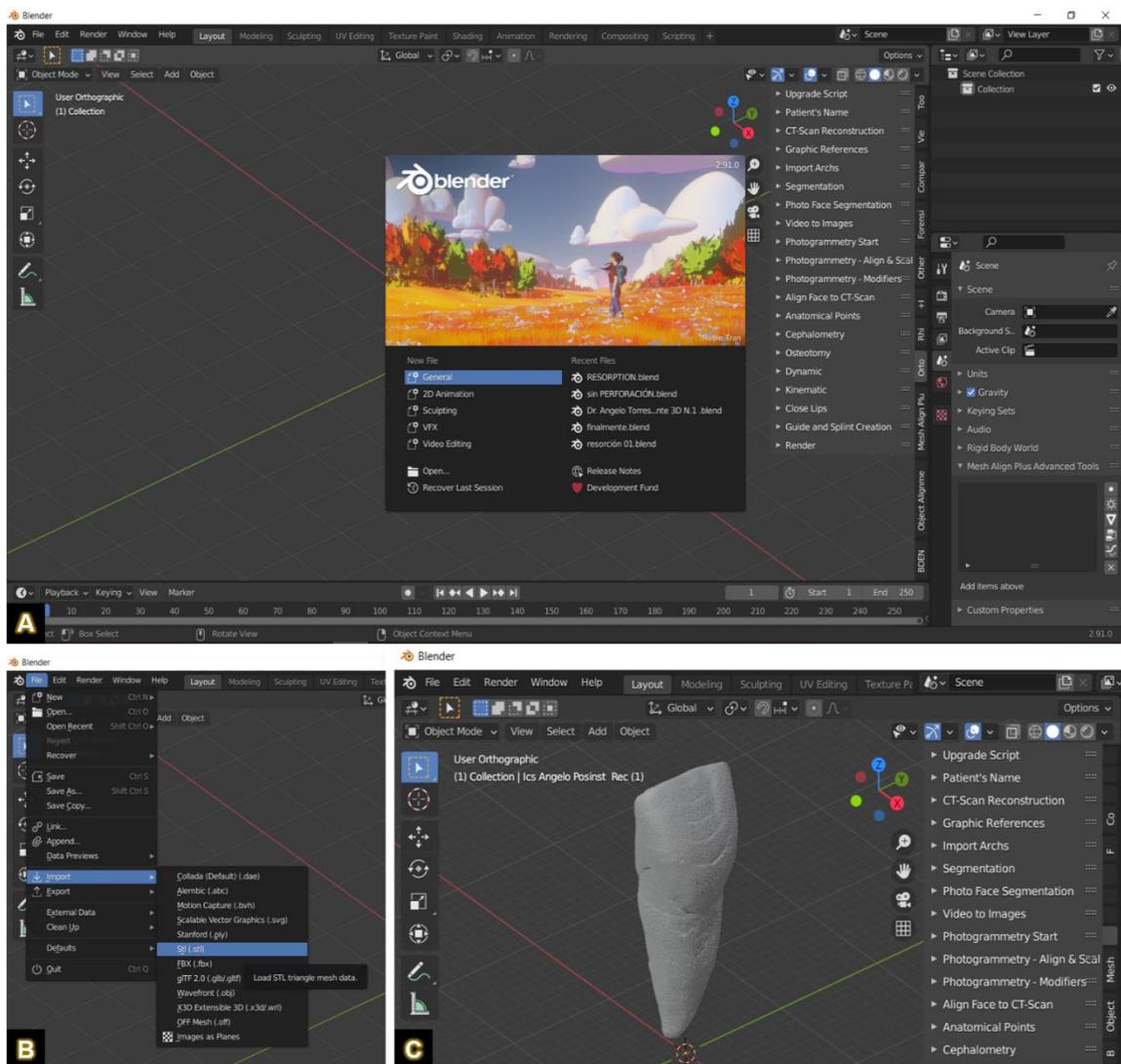


Figura 3. Importação do arquivo STL no *software* Blender: (A) Janela inicial do *software* Blender®; (B) Pasta de origem STL; (C) Visão geral do arquivo recém importado, sem alinhamento.

Para visualizar o dente transparente, com o canal visível, foi ativada a ferramenta “*Toggle X-Ray*”. Foram utilizadas as seguintes ferramentas básicas para modelagem: “*joystick*”, que permite girar e arrastar o dente em seus 3 eixos (x, y e z), “*zoom*” para aumentar e reduzir o tamanho do dente e “*move*” para mover-se internamente e externamente na anatomia do dente. O menu “*3D viewport*” possui dois modos de edição, o “*Object Mode*”, cujas ferramentas foram utilizadas para alinhar o dente e fazer medições, e o “*Sculpt mode*”, que apresenta ferramentas para modelar o canal (Figura 4).

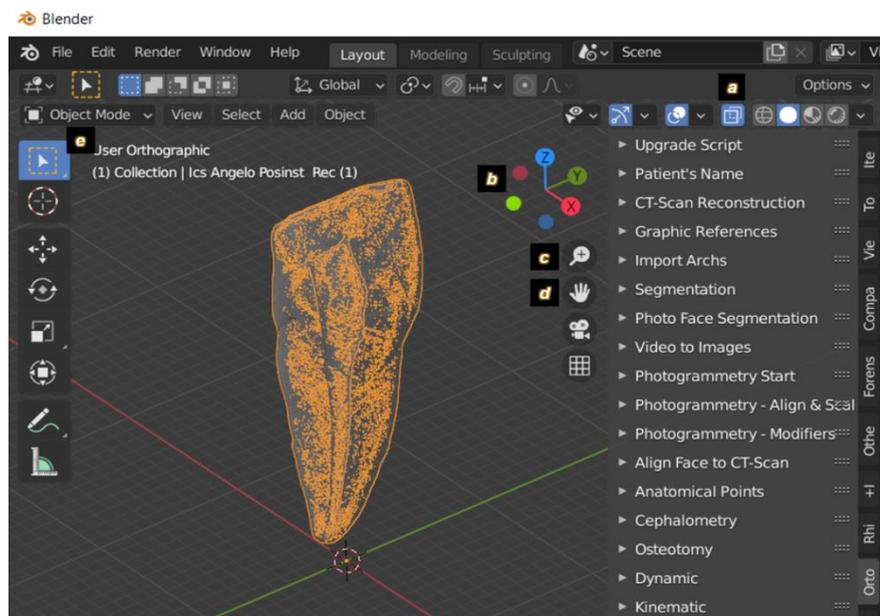


Figura 4. Imagem do dente transparente com o canal visível. Legenda - a: ferramenta “*Toggle X-Ray*”; b: ferramenta “*joystick*”; c: ferramenta “*zoom*”; d: ferramenta “*move*”, e: modo de edição “*Object mode*”.

O próximo passo foi alinhar o dente em relação ao seu eixo vertical para ter uma posição definida, e assim poder retornar a essa posição após qualquer edição. Para isso, quando o dente foi visualizado na vista frontal, seu ápice foi levado à intersecção dos eixos x, y e z utilizando a ferramenta “*move*” (Figuras 5A e 5B). Com o dente em vista lateral, o mesmo protocolo foi realizado, obtendo-se assim o ápice dentário na intersecção dos eixos (Figuras 5C e 5D).

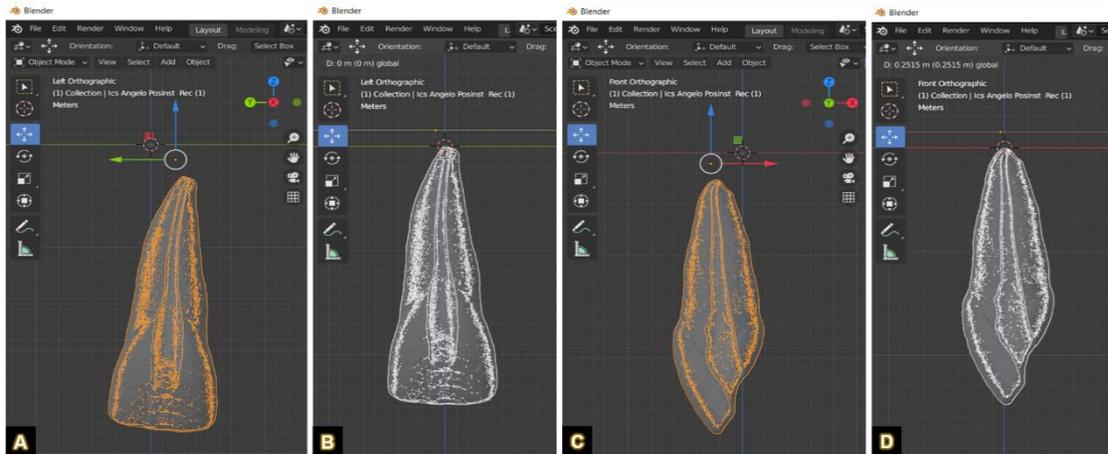


Figura 5. Ferramenta *move* selecionada em azul: (A) Incisivo em vista frontal; (B) Ápice do incisivo alinhado frontalmente; (C) Incisivo em vista lateral; (D) Ápice do incisivo alinhado lateralmente.

Utilizando-se a ferramenta “*rotate*”, a borda incisal do dente foi estabelecida como referência para o alinhamento nas direções frontal e lateral. Com o incisivo em vista frontal, o centro da borda incisal foi posicionado paralelamente ao ápice (Figuras 6A e 6B) e com o dente em visão lateral, o mesmo protocolo foi realizado, obtendo-se assim o ápice e a borda incisal alinhados em seu eixo vertical (Figuras 6C e 6D).

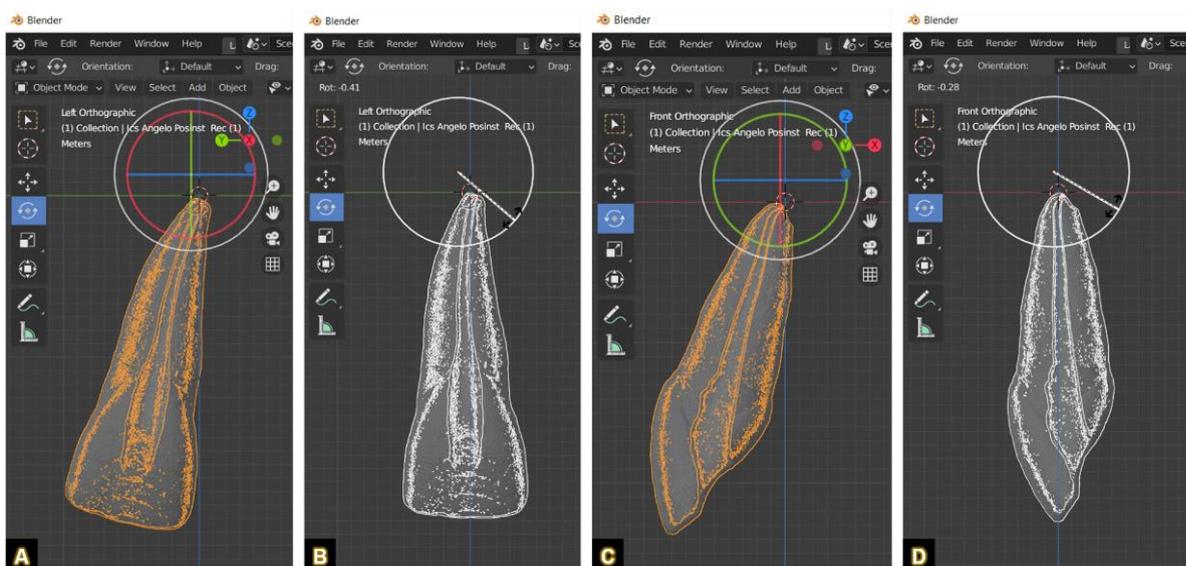


Figura 6. Ferramenta “*rotate*” selecionado em azul: (A) Incisivo em vista frontal; (B) Ápice e borda incisal do incisivo alinhados frontalmente; (C) Incisivo em vista lateral; (D) Ápice e borda incisal alinhados lateralmente.

Com o incisivo alinhado, os 6 mm apicais correspondentes ao terço apical do canal radicular (Figura 7A) e os 6 mm do terço médio correspondentes à área da reabsorção (Figura 7B) foram medidos usando a ferramenta “*measure*”.

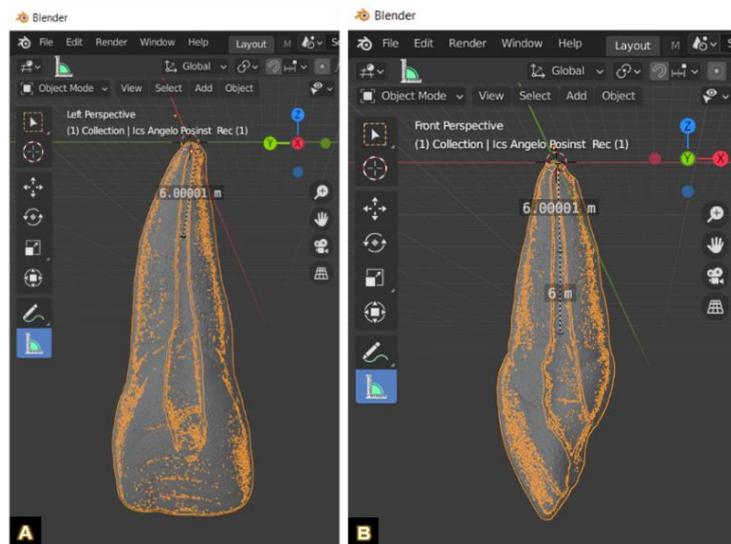


Figura 7. Ferramenta “*measure*” selecionada em azul: (A) Vista frontal dos 6 mm apicais; (B) Vista lateral dos 6 mm apicais e 6 mm do terço médio correspondentes à área de reabsorção.

As mensurações foram feitas do limite do forame apical até os 6 mm da trajetória do canal usando as ferramentas “*zoom*”, “*move*” e “*joystick*” (Figura 8).

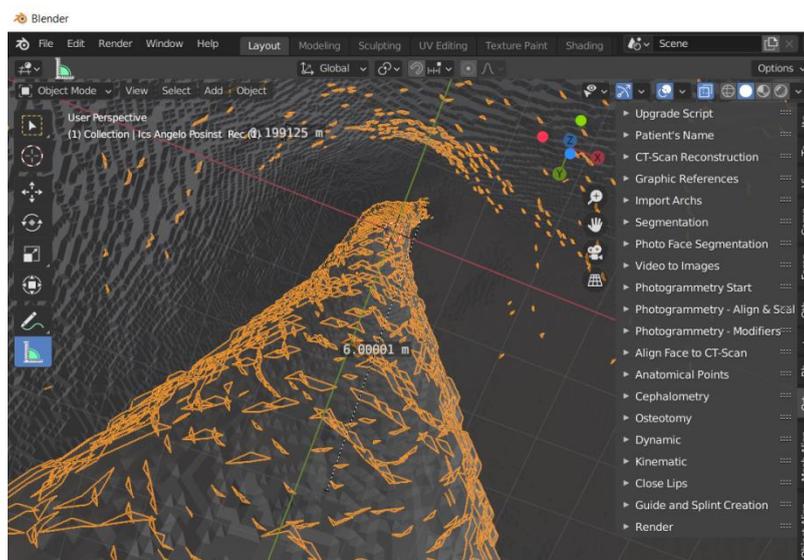


Figura 8. Vista interna do canal radicular e mensuração dos 6 mm apicais a partir do forame.

Finalizado as medidas, a reabsorção foi projetada por meio da ferramenta “grab”. O clique do cursor sobre a área do canal permitiu deformar e aumentar o volume circunferencial do canal radicular, simulando a forma da reabsorção interna (Figura 9).

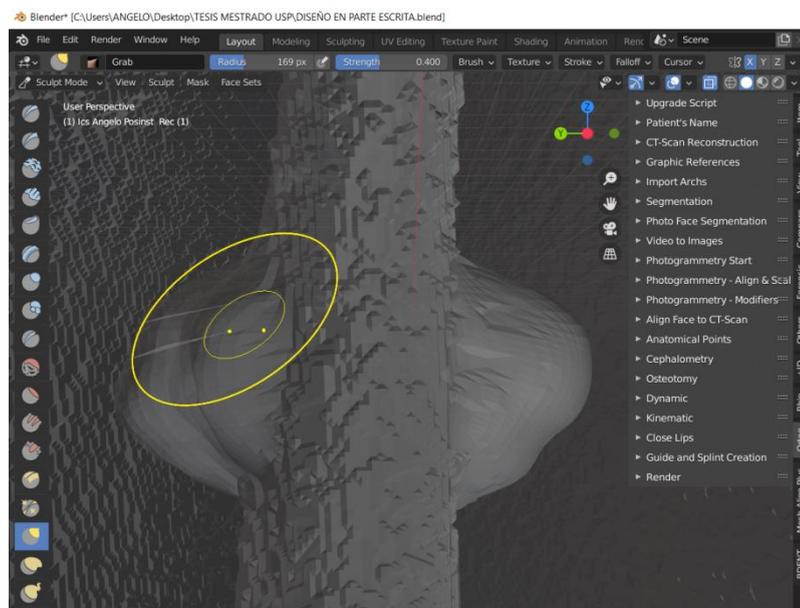


Figura 9. Ferramenta “grab” selecionada em azul.

Posteriormente, a simulação da reabsorção foi observada em vista frontal e maximizada para garantir que a extensão da área de reabsorção se estendesse até quase atingir as superfícies externas da raiz (Figuras 10A e 10B). Utilizando a ferramenta “box hide” a perfuração foi então desenhada na superfície vestibular da raiz, comunicando a reabsorção em sua parte central com o meio externo formando a reabsorção interna perfurante (Figuras 11A e 11B). Em seguida, foi feita a exportação dos arquivos no formato *Blender(blend)* e no formato STL para a impressão dos modelos (Figura 11C).

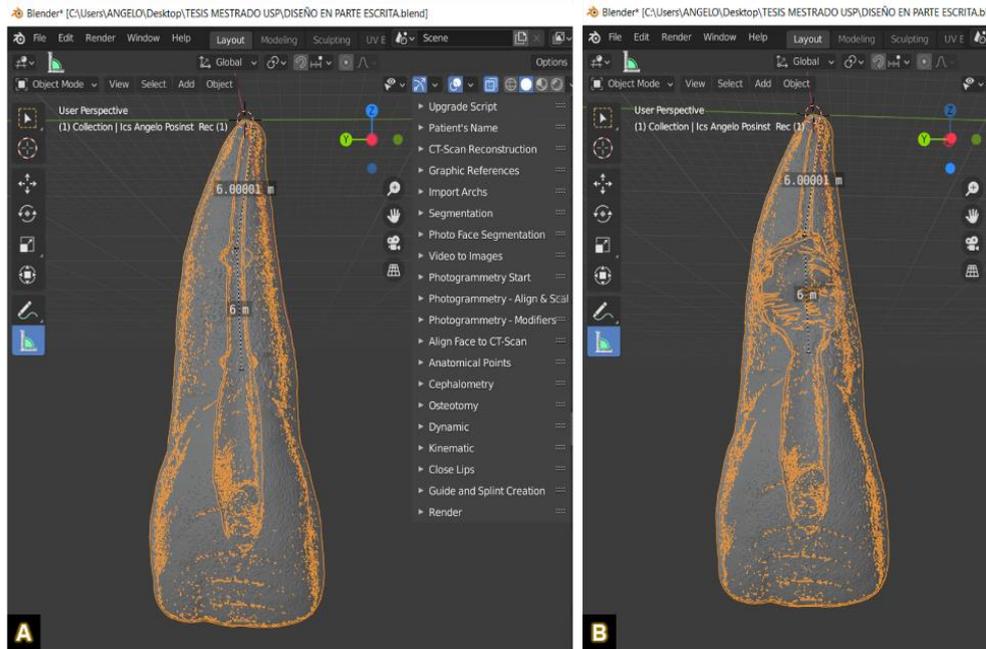


Figura 10. Desenho da reabsorção interna: (A) 6 mm do terço médio delimitados para o desenho da reabsorção; (B) Conclusão do desenho da reabsorção interna.

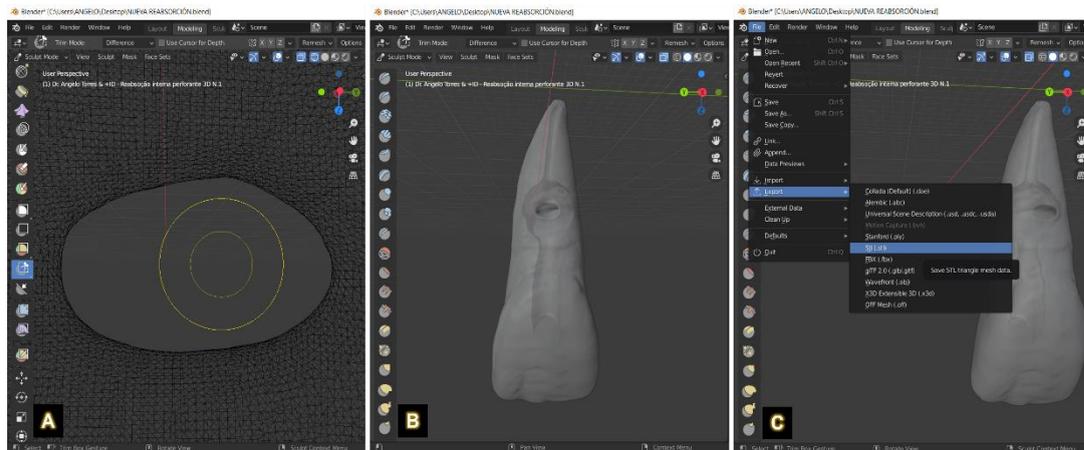


Figura 11. Desenho da perfuração: (A) Vista interna da reabsorção com a ferramenta “box hide” delimitando a área de perfuração; (B) Desenho da RIP finalizado; (C) Exportação do desenho finalizado em formato STL.

Impressão tridimensional dos dentes em resina

O arquivo STL do dente com a reabsorção interna perfurante foi importado para o software de impressão 3D *FlashDLPrint* (FlashForge Corporation, Zhejiang, China). O dente foi posicionado verticalmente a partir do seu eixo axial no centro da plataforma de impressão e foram criados, manualmente, suportes entre a coroa do dente e a plataforma para a fácil remoção do modelo ao final da impressão (Figura

12A). O dente e os suportes criados foram duplicados até que 34 cópias fossem obtidas. O *software* permitiu alinhá-los automaticamente dentro do perímetro da plataforma de impressão (Figura 12B).

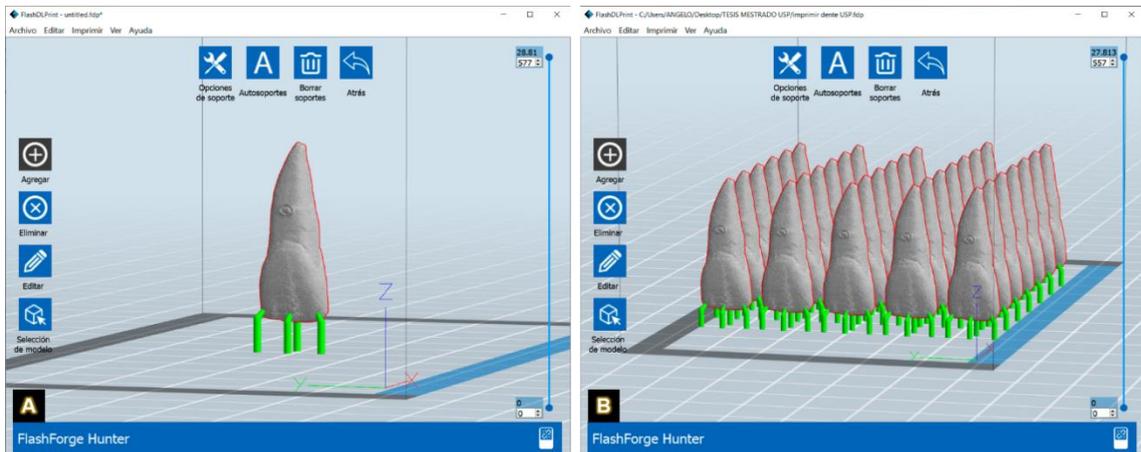


Figura 12. *Software* de impressão 3D *FlashDLPrint*: (A) Dente alinhado com os suportes criados; (B) Incisivos alinhados dentro do perímetro da plataforma de impressão.

A impressão dos dentes com reabsorção interna perfurante foi realizada com auxílio da impressora *FlashForge Hunter 3D* (FlashForge Corporation, Zhejiang, China), a qual apresenta tecnologia de processamento digital por luz, e resina translúcida (Prizma 3D Bio Guide, Makertech Labs, Tatuí, SP, Brasil) (Figuras 13A e 13B). A resina foi vertida no tanque e a impressão foi realizada em camadas de 0,05 mm (Figuras 13C, 13D e 13E). O tempo de impressão estabelecido foi de aproximadamente duas horas e vinte minutos. Ao final da impressão, a plataforma foi removida para iniciar o pós-processamento dos dentes impressos (Figura 13F).

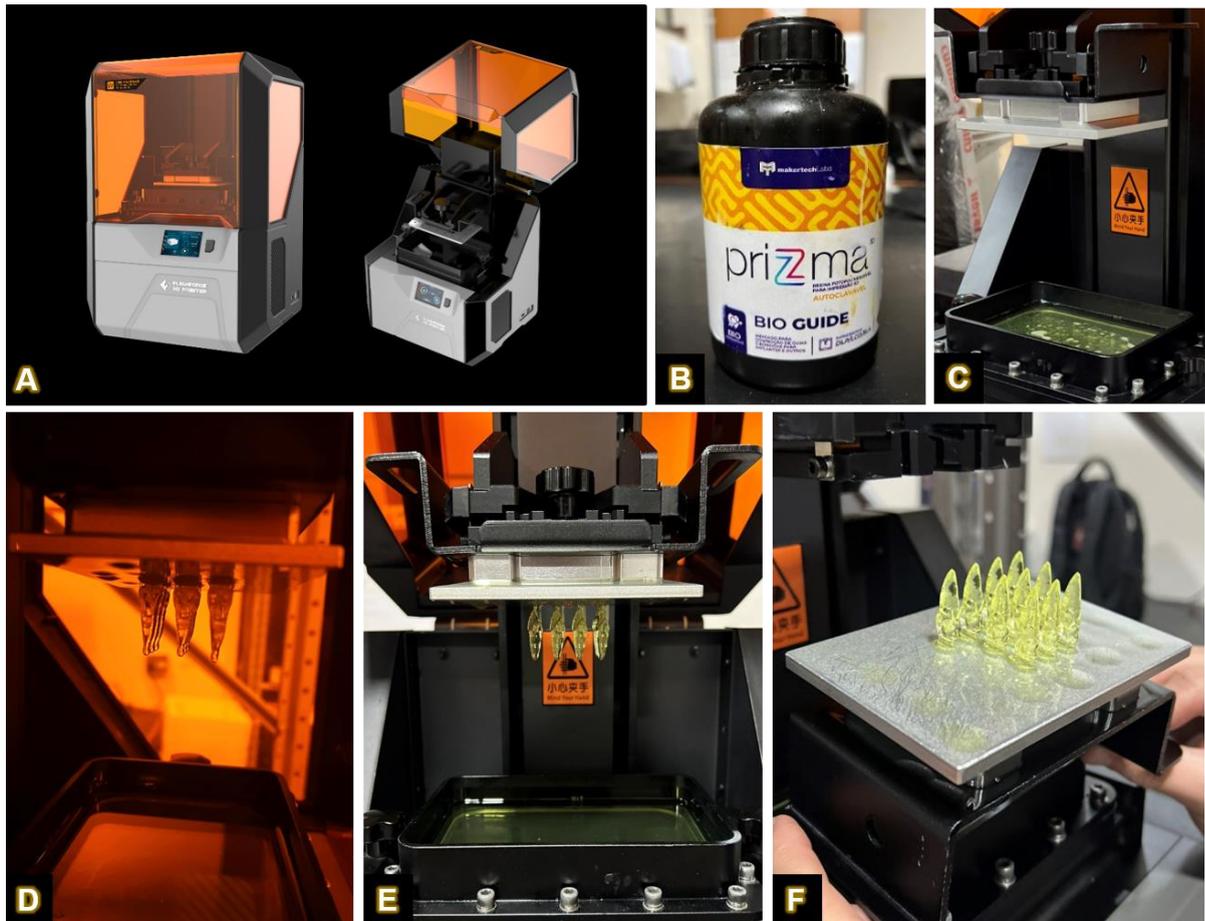


Figura 13. Sequência de impressão 3D: (A) Impressora *FlashForge Hunter 3D printer*; (B) Resina *Prizma 3D Bio Guide*; (C) Inserção da resina líquida no tanque de impressão; (D) Vista lateral da impressão em camadas; (E) Final da impressão; (F) Remoção da plataforma de impressão.

Para a limpeza dos dentes impressos, foi aplicado álcool isopropílico 99,9% (Lioserum Chemicals, Ribeirão Preto, SP, Brasil) com o objetivo de remover a camada de resina líquida aderida à superfície (Figuras 14A e 14B). Em seguida, os dentes foram cuidadosamente retirados da plataforma de impressão com o auxílio de espátula de metal (Figura 14C) e levados à máquina de lavar Prusa CW1S (Prusa Research, Praga, República Tcheca). No interior da máquina, os dentes impressos foram lavados com álcool isopropílico por três minutos e secos por 30 minutos (Figura 14D e 14E). A polimerização dos dentes foi então realizada por 4 minutos na máquina *Creality 3D UW-01* (*Creality 3D Technology, Shenzhen, China*) com luz UV de comprimento de onda 405 nm (Figura 14F). Por fim, o suporte de cada dente impresso foi removido cuidadosamente (Figuras 14G e 14H).

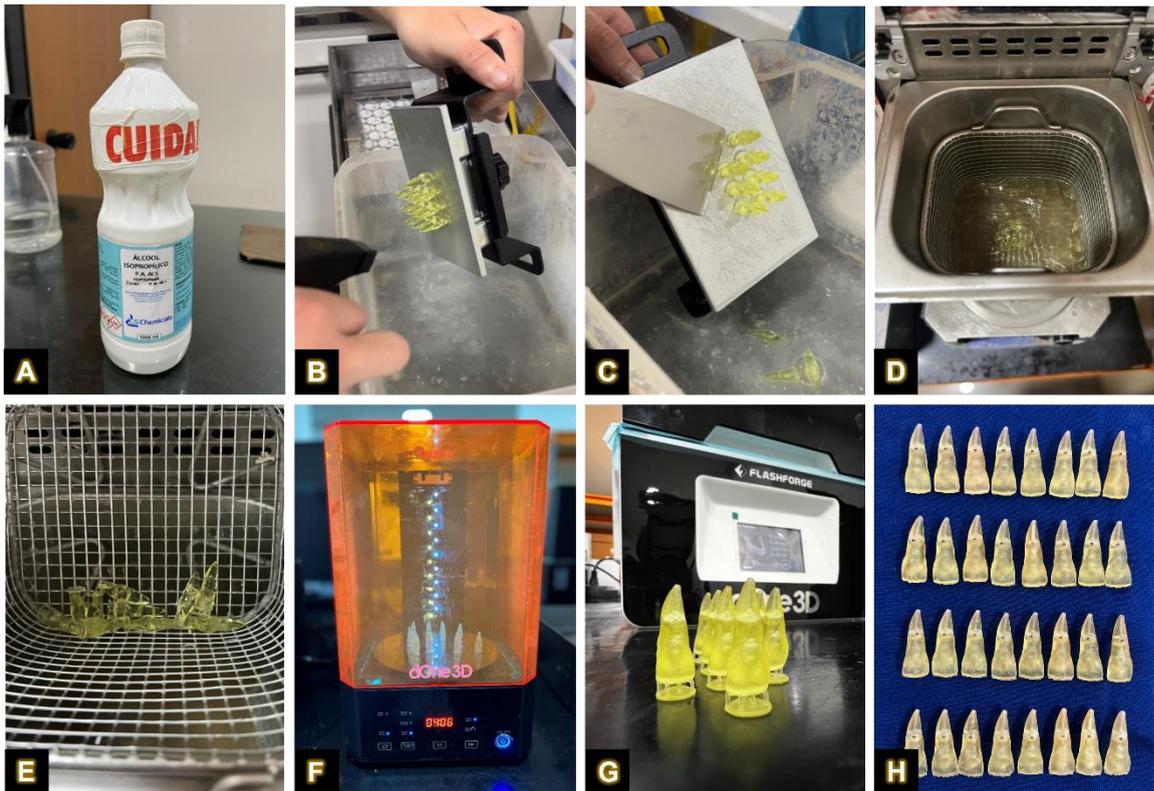


Figura 14. Pós-processamento dos dentes impressos: (A) Álcool isopropílico; (B) Aplicação de álcool isopropílico nas superfícies com excesso de resina; (C) Remoção dos modelos 3D com espátula de metal; (D) Lavagem com álcool isopropílico; (E) Secagem dos dentes impressos; (F) Dentes no interior da câmara de polimerização UV; (G) Dentes impressos nos respectivos suportes; (H) Dentes impressos.

Simulação dos tecidos periodontais

Para simular os tecidos periodontais, a raiz de um dos dentes impressos foi coberta com cera 7 (Lysanda, São Paulo, SP, Brasil). A raiz foi então posicionada no alvéolo do manequim endodôntico (Orais Manequins Odontológicos, Goiânia, GO, Brasil) e fixada com auxílio de gesso pedra tipo III (Vigodent-Coltene, Rio de Janeiro, RJ, Brasil) acrescido de serragem, com o intuito de simular radiograficamente o trabeculado ósseo. Após a presa do gesso, o dente foi removido, criando-se assim um espaço padronizado para simulação do alvéolo.

Antes de posicionar cada dente impresso no manequim para a etapa de obturação, gel de agarose (ACS Científica, Sumaré, SP, Brasil) foi utilizado para simular o ligamento periodontal. O gel de agarose foi preparado proporcionando 0,0625 g de agarose em pó e 3,125 mL de água bidestilada (Figuras 15A e 15B). Os

materiais foram misturados com auxílio de barra magnética e agitador magnético com aquecimento Fisatom 752A (Fisatom, São Paulo, SP, Brasil) até obter uma mistura homogênea (Figuras 15C e 15D).

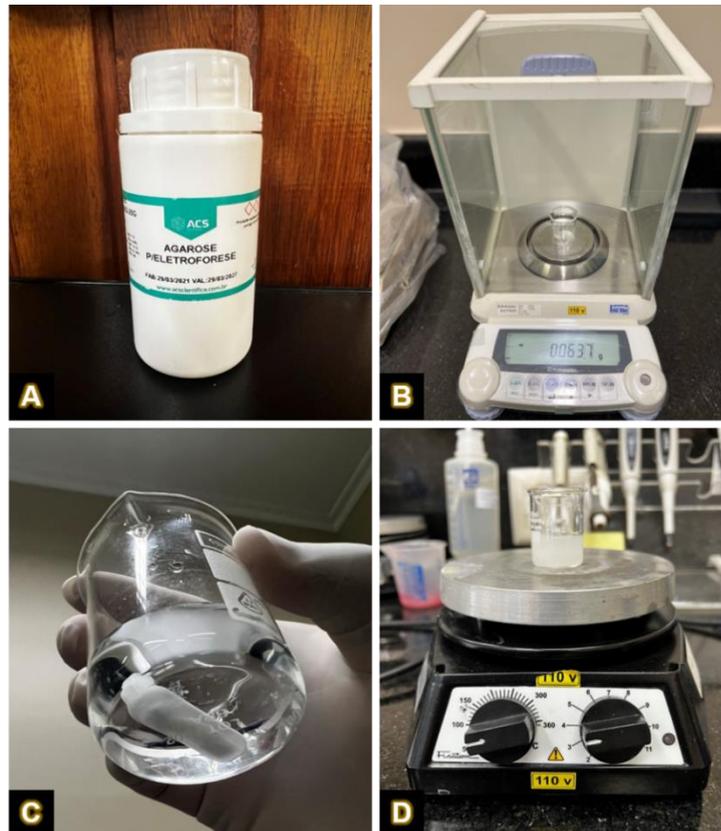


Figura 15. Preparação do gel de agarose: (A) Pó de agarose; (B) Pesagem de agarose na balança analítica de precisão; (C) Barra magnética de agitação no Becker com agarose e água bidestilada; (D) Mistura do gel no agitador magnético com aquecimento.

Após o início da geleificação o gel de agarose foi adicionado ao alvéolo até seu completo preenchimento (Figura 16A). Para evitar a penetração da agarose na região da perfuração, a raiz foi coberta com uma tira de papel alumínio e o dente inserido no alvéolo até a região onde seria a junção amelocementária. Uma vez finalizada a geleificação da agarose o excesso de gel foi removido com lâmina de bisturi nº15 (Maxicor, Pinhais, PR, Brasil) (Figuras 16B e 16C). O dente foi removido do alvéolo e a tira de alumínio retirada para que pudesse ser então reposicionado de forma que a agarose ficasse em contato com o dente (Figura 16D).



Figura 16. Posicionamento do dente impresso no manequim: (A) Gel de agarose no alvéolo (B) Vista oclusal do dente impresso no alvéolo evidenciando excesso de agarose; (C) Visão frontal do dente evidenciando excesso de agarose; (D) Dente reposicionado no alvéolo correspondente.

Distribuição das amostras em grupos experimentais

As amostras foram distribuídas aleatoriamente em quatro grupos de acordo com os materiais de preenchimento utilizados (Figura 17): Grupo I - obturação da região apical com cone de guta-percha e Bio-C Sealer (Angelus, Londrina, PR, Brasil) e preenchimento da área da reabsorção com Bio-C Repair, Grupo II - obturação da região apical com cone de guta-percha e BioRoot RCS (Septodont, Sain Maur des Fossés, França) e preenchimento da área da reabsorção com Biodentine, Grupo III - preenchimento com Bio-C Repair (Angelus, Londrina, PR, Brasil) e Grupo IV - preenchimento com Biodentine (Septodont, Sain Maur des Fossés, França) (Tabela I).

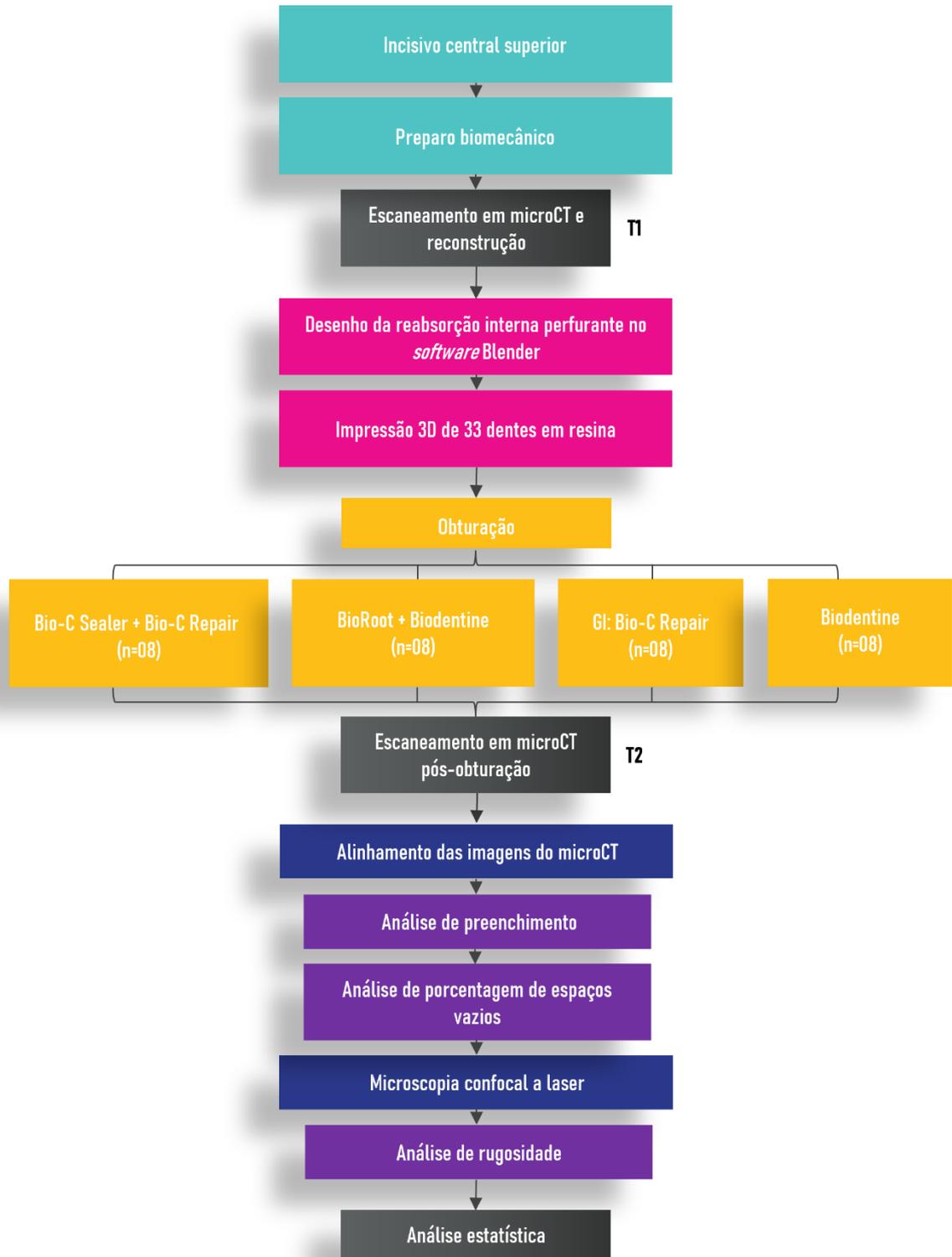


Figura 17. Fluxograma da sequência metodológica utilizada nas etapas experimentais do presente estudo.

Tabela I. Marca comercial e composição de acordo com as informações do fabricante.

Nome comercial	Composição	Fabricante
Bio-C® Sealer	Silicato de cálcio, aluminato de cálcio, óxido de cálcio, óxido de zircônio, óxido de ferro, dióxido de silício e polietilenoglicol	Angelus, Londrina, Brasil
BioRoot™ RCS	Pó: Silicato tricálcico, dióxido de zircônio e povidona Líquido: água, cloreto de cálcio e policarboxilato	Septodont, Saint Maur des Fossés, França
Bio-C® Repair	Silicatos de cálcio, aluminato de cálcio, óxido de cálcio, óxido de zircônio, óxido de ferro, dióxido de silício e agente de dispersão.	Angelus, Londrina, Brasil
Biodentine™	Pó: Silicato tricálcico, carbonato de cálcio, óxido de zircônio Líquido: Água, cloreto de cálcio, polímero hidrossolúvel	Septodont, Saint Maur des Fossés, França

Para simular as condições clínicas de posicionamento e visualização durante a obturação, o manequim foi posicionado com o plano oclusal da arcada superior perpendicular ao solo (Figura 18A). O dente impresso e os dois dentes laterais foram isolados com lençol de borracha (Madeitex, São Jose dos Campos, SP, Brasil) e arco de Ostby (Indusbello company, Londrina, PR, Brasil) (Figura 18B).



Figura 18. Simulação das condições clínicas (A) Posição do manequim durante a obturação; (B) Posição do manequim em vista frontal.

Nos grupos I e II a obturação foi feita de forma híbrida, sendo que os 6 mm apicais foram obturados com cimentos obturadores e cone de guta-percha R50 (VDW GmbH, Munique, Alemanha) calibrado no diâmetro #60. No grupo I foi utilizado cimento Bio-C Sealer (Figura 19A) e no grupo II cimento BioRoot RCS. Para a calibração do cone de guta-percha R50, a ponta do cone foi inserida no orifício da régua calibradora correspondente ao diâmetro #60 (MK Life, Porto Alegre, Brasil) (Figura 19B) e o excesso de guta-percha foi cortado com lâmina de bisturi nº15. A adaptação do cone no CT foi verificada por meio de radiografias digitais obtidas nos sentidos orto e mesiorradial (Figura 19C).

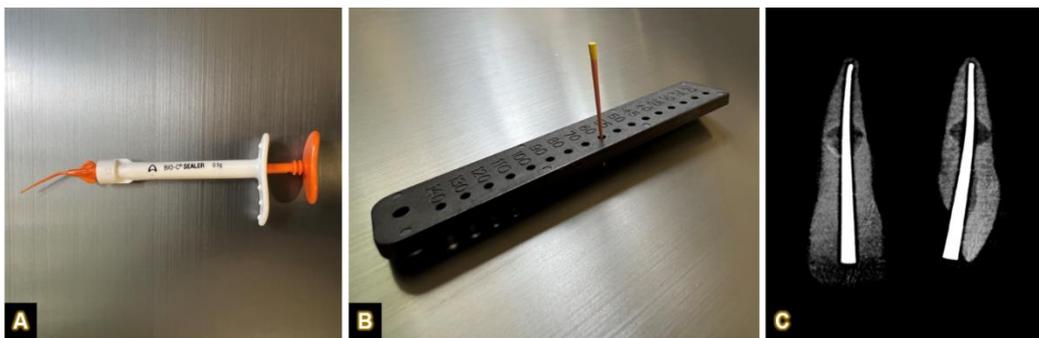


Figura 19. Adaptação apical do cone de guta-percha: (A) Cimento Bio-C Sealer; (B) Calibração do cone de guta-percha Reciproc; (C) Radiografia orto e mesiorradial.

Para a obturação somente dos 6 mm apicais, o cone de guta-percha foi cortado transversalmente (Figura 20A) no comprimento correspondente à área de reabsorção e ao forame apical, porém sem que houvesse a separação dos segmentos. Essa metodologia permitiu que a porção apical do cone de guta-percha ficasse solta, no entanto, ainda presa ao restante do comprimento do cone. Esse procedimento foi realizado para permitir o travamento do segmento apical no momento da obturação simultaneamente à remoção do fragmento acima do início da área da RIP.

Os cimentos obturadores foram manipulados de acordo com as instruções dos respectivos fabricantes. O cimento obturador Bio-C Sealer foi aplicado no terço apical do canal radicular diretamente com a seringa aplicadora que acompanha o produto (Figura 20B).

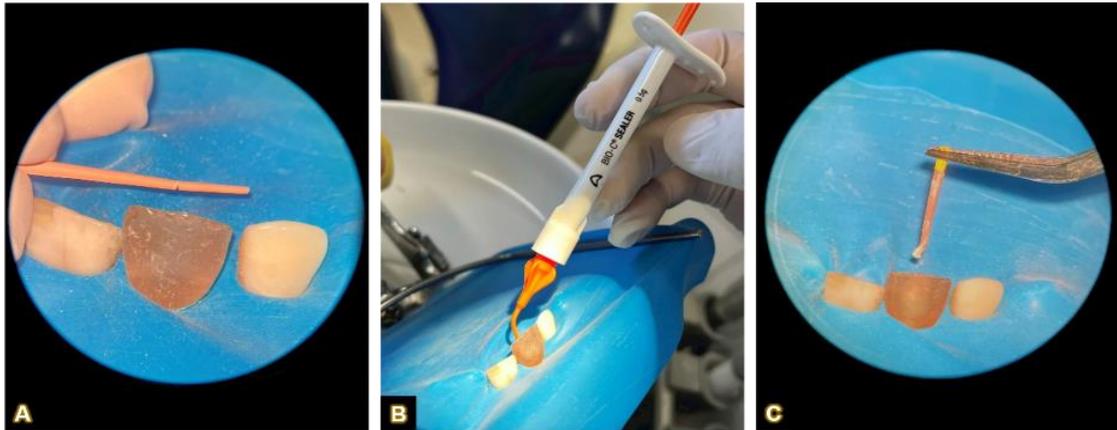


Figura 20. Sequência de obturação pela técnica híbrida: (A) Corte incompleto do cone de guta-percha em seus 6 mm apicais; (B) Aplicação de cimento obturador no terço apical; (C) Rotação e retirada do cone de guta-percha, deixando apenas os 6 mm apicais obturados.

O cimento BioRoot RCS (Figura 21A) foi preparado em placa de vidro na proporção indicada pelo fabricante, utilizando uma medida de pó e 5 gotas do líquido (Figura 21B), com manipulação por 60 segundos com o auxílio de espátula até obtenção de uma massa homogênea (Figura 21C). O cimento BioRoot RCS foi levado ao canal juntamente com o cone de guta-percha, o cone de guta-percha previamente revestido com BioRoot RCS foi posicionado cuidadosamente no interior do canal radicular, preenchendo os 6 mm apicais. Para selar somente o terço apical, o cone foi girado no sentido horário e pressionado apicalmente até que a separação da parte cervical do cone fosse visualizada e a parte apical do cone permanecesse apenas no nível do corte (Figuras 20C e 21D).



Figura 21. Sequência de obturação referente a técnica híbrida (A) Cimento BioRoot; (B) Colher de medição do pó; (C) Cimento BioRoot manipulado e cone de gutta-percha calibrado; (D) Rotação e retirada do cone de gutta-percha, deixando apenas os 6 mm apicais obturados.

Com o auxílio de condensador manual de NiTi #35, a porção apical do cone de gutta-percha foi condensada verticalmente a frio, com pressão leve em direção apical por 5 segundos. O nível da obturação foi verificado por meio de radiografia digital ortorrádial (Figura 22A).

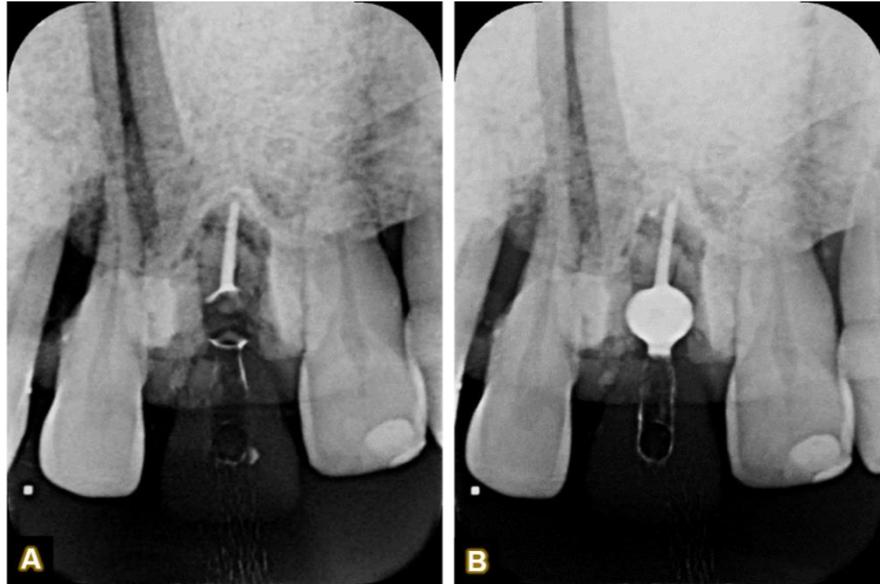


Figura 22. Sequência de radiografias periapicais referentes a técnica de obturação híbrida: (A) Radiografia ortorrádial do preenchimento apical com guta-percha; (B) Radiografia ortorrádial do preenchimento total do canal.

No grupo I a cavidade de RIP foi progressivamente selada com o cimento Bio-C Repair, e no grupo II com cimento Biodentine. Os cimentos reparadores foram condensados com condensador manual NiTi #70, por meio de pressão suave em direção à RIP, até que se constatasse preenchimento com auxílio de magnificação microscópica e radiografia ortorrádial (Figura 22B).

Nos grupos III e IV o cimento reparador foi inserido gradativamente na totalidade do canal radicular por meio de incrementos, sendo que no grupo III foi utilizado Bio-C Repair (Figura 23A) e no grupo IV Biodentine. O cimento Bio-C Repair pronto para uso, foi removido da embalagem e introduzido no canal (Figuras 23B e 23C). O cimento reparador Biodentine (Figura 24A) foi manipulado de acordo com as instruções do fabricante. Para a manipulação do cimento Biodentine, 5 gotas do frasco contendo líquido foram dispensados na cápsula contendo pó do cimento. A cápsula foi posicionada em amalgamador (Alt Mix, Alt equipamentos, Ribeirão Preto, SP, Brasil) (Figura 24B), e agitada a uma velocidade de 4000 rpm por 30 segundos.

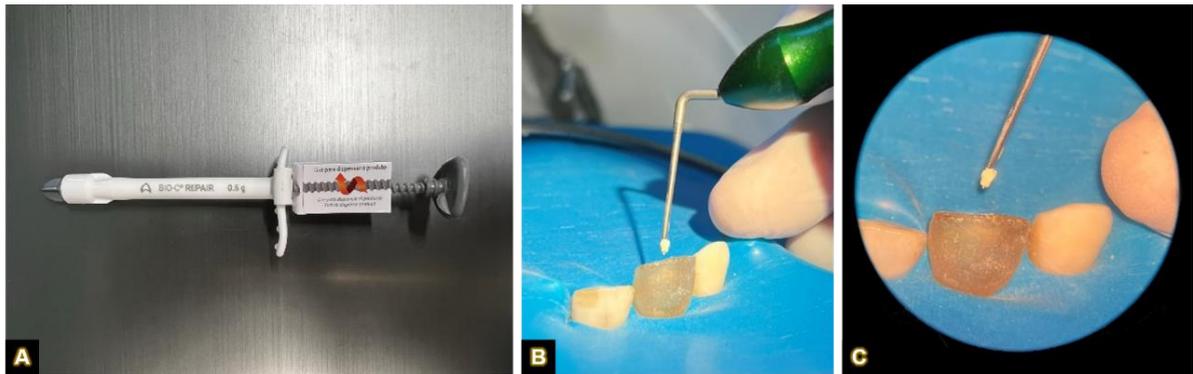


Figura 23. Técnica incremental com cimento Bio-C Repair: (A) Cimento Bio-C Repair; (B) Aplicação do cimento com condensador manual de NiTi #35; (C) Aplicação do cimento com condensador manual de NiTi #70.

Para inserir e condensar os incrementos nos 6 mm apicais foi utilizado condensador manual de NiTi #35 (Easy Equipamentos Odontológicos, Belo Horizonte, MG, Brasil), enquanto na área da RIP, foi utilizado condensador manual de NiTi #70 (Easy Equipamentos Odontológicos, Belo Horizonte, MG, Brasil) (Figura 24C).



Figura 24. Técnica incremental com cimento Biodentine: (A) Cimento Biodentine; (B) Amalgamador; (C) Aplicação do cimento com condensador manual de NiTi #70.

O preenchimento em todos os grupos foi considerado completo quando se obteve o preenchimento dos canais radiculares até atingir 2 mm acima da área de reabsorção interna. Os dentes foram armazenados a 37 °C e 100% de umidade relativa por 7 dias.

Escaneamento microtomográfico pós-obturação

Os 32 dentes impressos obturados e um dente de resina adicional sem preenchimento foram escaneados utilizando o microCT SkyScan 1272 (SkyScan 1272, Bruker-microCT, Kontich, Bélgica) (Figura 25A), localizado no Centro de Pesquisas Odontológico Biomecânica, Biomateriais e Biologia Celular da Universidade Federal de Uberlândia (CPBIO/FOUFU). Para tal, uma porção de cera foi posicionada no suporte metálico giratório no interior do microtomógrafo, e cada dente foi inserido individualmente no centro da cera, de forma que ficasse perpendicular à fonte de radiação durante o escaneamento (Figura 25B).



Figura 25. Escaneamento pós-operatório: (A) Microtomógrafo SkyScan 1272; (B) Dente de resina obturado posicionado na porta amostra.

Após a confirmação do posicionamento do dente, deu-se início ao escaneamento utilizando os seguintes parâmetros energéticos de aquisição: 100 kVp, 100 μ A, resolução isotrópica de 21 μ m, 360° de rotação em torno do eixo vertical com passo de rotação de 0,7°, quantidade total de 4 quadro (frame), com filtro de alumínio/cobre de 0,5/0,038 mm de espessura. A partir dos parâmetros selecionados (Anexo 2), foi estabelecido um tempo de escaneamento médio de 44 minutos (Figura 26). As projeções bidimensionais das imagens geradas foram arquivadas no formato *Tagged Image File* (TIFF).

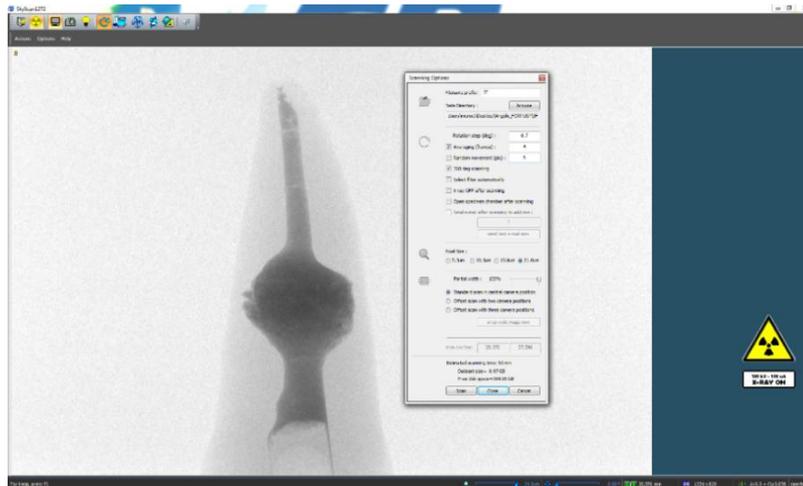


Figura 26. Processo de escaneamento do dente obturado.

A partir das 514 projeções bidimensionais obtidas após o escaneamento, deu-se início às reconstruções axiais a partir das projeções angulares, por meio do algoritmo de reconstrução de *Feldkamp* modificado, usando o programa *NRecon* v.1.6.6.0 (Anexo 3). Foi aplicada ferramenta de redução de artefatos em forma de anel (*Ring Artifact*) no valor de 4 (escala de 0-10), de endurecimento de feixe (*Beam Hardening*) no percentual de 0% (escala de 0-100%), de suavização (*Smoothing*) no valor de 4 (escala de 0-10). O histograma de contraste das imagens apresentou escala variando de 0,003 a 0,17. As secções axiais reconstruídas foram salvas em formato *Bitmap* (.bmp).

As imagens de cada espécime, obtidas no exame microtomográfico pós-obturação, foram então registradas e alinhadas em relação à imagem obtida no exame microtomográfico do dente sem preenchimento, por meio da ferramenta “*3D registration*” no programa *Data Viewer* v.1.5.1.2 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica) (Figuras 27A e 27B). Por convenção, o conjunto de dados obtidos do dente sem preencher foi considerado fixo, fazendo-se o registro dinâmico do conjunto de dados após a obturação em relação ao primeiro. Este novo registro de dados alinhado de cada espécime após a obturação foi salvo em um novo diretório. Além disso,

também foi salvo um novo diretório do conjunto de dados da variação (diferença) entre o conjunto de dados dos espécimes obtidos antes e após a obturação (*Image Difference*).

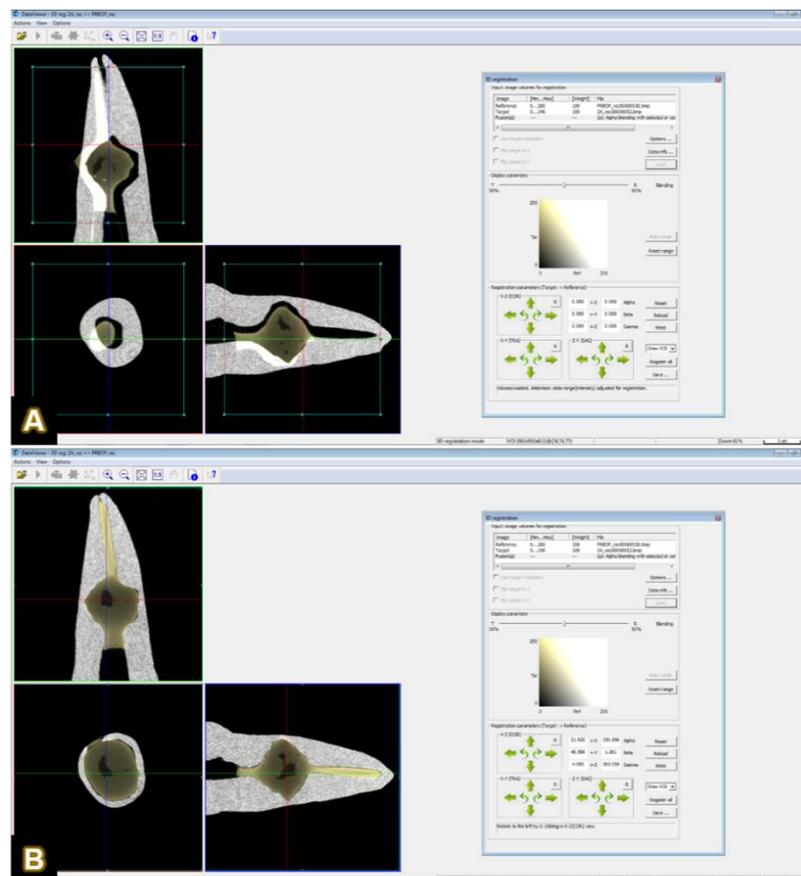


Figura 27. Registro das imagens: (A) Conjunto de imagens sim preenchimento e pós-obturação desalinhadas; (B) Conjunto de imagens sim preenchimento e pós-obturação alinhadas geometricamente.

Após o alinhamento dos espécimes, realizou-se o processamento e análise das imagens pós-obturação, com o auxílio do programa CTAn v.1.18.8.0+ (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica). A região de interesse (ROI) foi definida como o material obturador intracanal, que foi segmentado em duas áreas: a área da região apical, onde para o “*Top*” foi selecionado o corte mais apical em que foi visualizada a obturação, e para o “*Bottom*” o corte correspondente aos próximos 3 mm coronais; e a área da reabsorção interna perforante, onde para o “*Top*” o primeiro corte

selecionado foi o corte mais apical correspondente ao início da cavidade da reabsorção e para o “*Bottom*” o corte mais cervical, próximo ao final da cavidade (Figuras 28A e 28B).

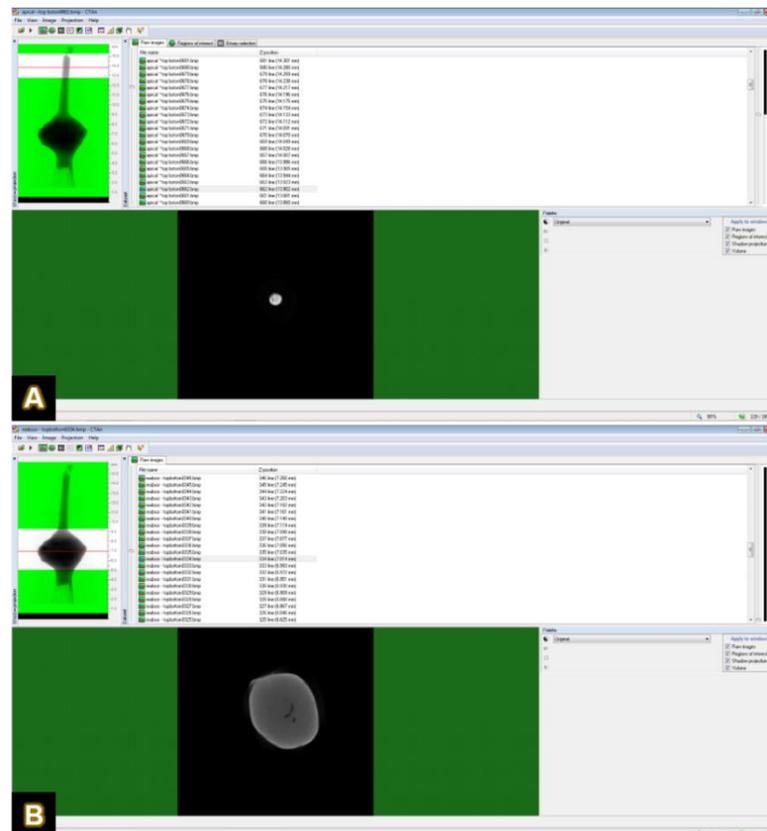


Figura 28. Seleção da região de interesse: (A) Área do terço apical; (B) Área do RIP.

Em seguida, foi realizada a segmentação da imagem por meio da técnica de binarização ou *threshold* interativo, na qual foi realizada a segmentação dos valores de tons de cinza da reconstrução tridimensional obtendo-se, assim, uma imagem binária onde os *pixels* pretos representaram o fundo e os *pixels* brancos, o objeto da análise (Figura 29). Esse processo foi realizado para a região de interesse do material obturador intracanal por meio de operações matemáticas com a ferramenta *Custom Processing*, utilizando uma sequência de *plug-ins* (*task list*) com intuito de processar de maneira personalizada as imagens, resultando nos dados

morfométricos tridimensionais de volume (mm^3) do terço apical, da área da reabsorção interna perfurante, do canal como um todo, e os modelos tridimensionais pós-obturação (imagens binarizadas somadas) de cada espécime.

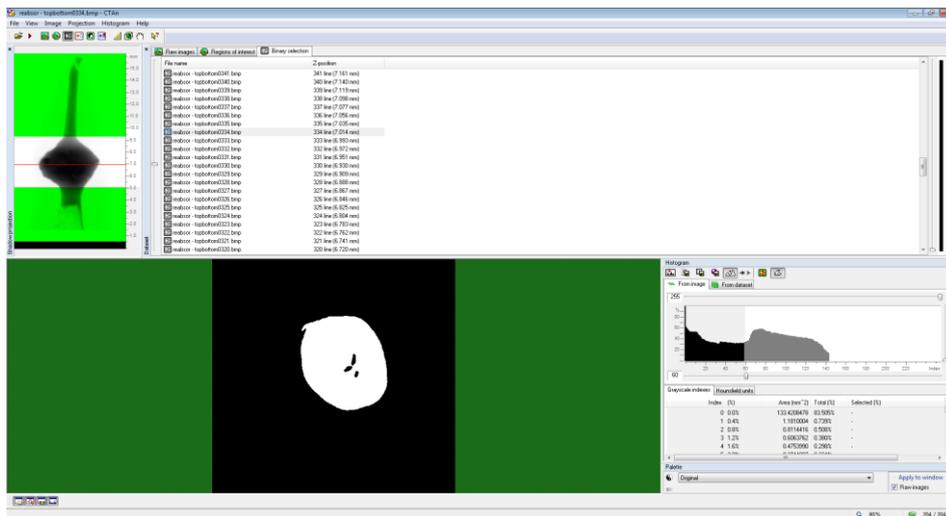


Figura 29. Binarização do objeto da análise por meio do histograma de densidade.

Em seguida, foi realizado o processamento da imagem (Figuras 30A e 30B) e a geração dos dados volumétricos para a posterior confecção das imagens em 3D.

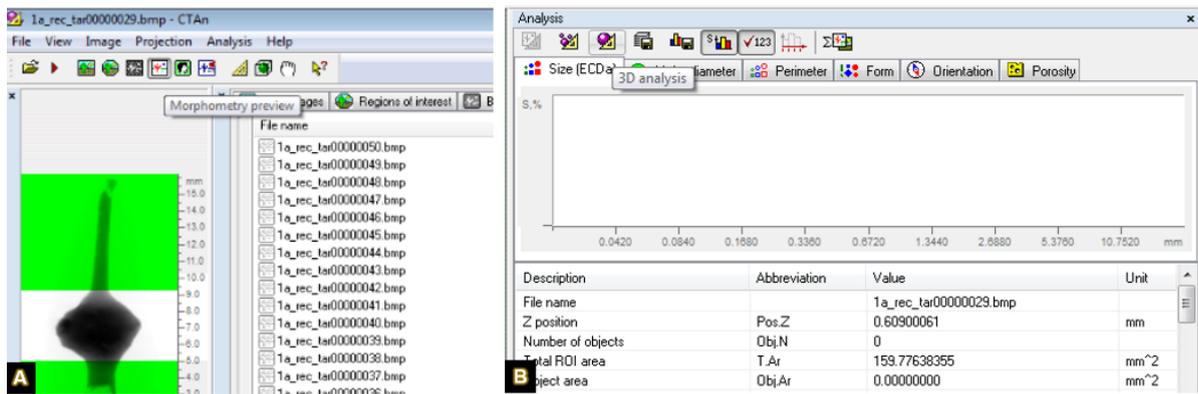


Figura 30. Processamento da imagem da reabsorção interna perfurante: (A) Seleção da ferramenta Morphometry preview a partir da barra de menu; (B) Seleção da ferramenta 3D analysis a partir da janela Analysis.

O cálculo do volume da região de interesse foi feito por meio do programa CTAn que, por meio da seleção prévia dos parâmetros de interesse (Figuras 31A e

31B), forneceu em uma tabela os dados requeridos e suas respectivas unidades de medida.

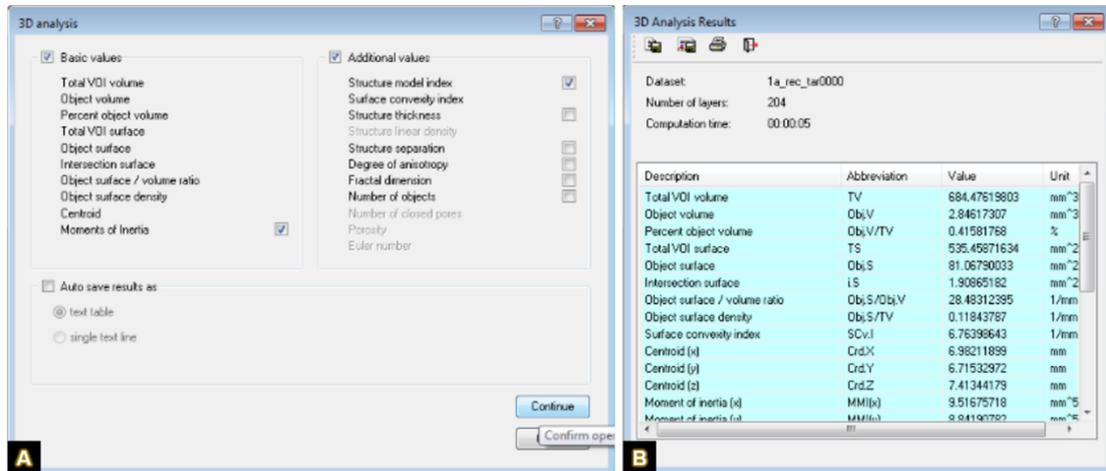


Figura 31. Cálculo do volume: (A) Seleção dos parâmetros de interesse; (B) Resultados contendo cada parâmetro calculado pelo CTAn e sua respectiva unidade de medida.

O preenchimento foi determinado pelo cálculo da subtração do volume inicial (dente escaneado sem obturação) do volume final (volume do material obturador) avaliado em cada amostra. Os resultados obtidos foram então convertidos em porcentagens com base no volume inicial e armazenados em uma planilha de Excel.

Para analisar qualitativamente o preenchimento na área da perfuração da reabsorção interna, foram obtidos modelos 3D dessa região de cada amostra utilizando o programa CTvol 2.3.2.1 (Bruker, microCT, Kontich, Bélgica). A fim de facilitar a identificação do preenchimento da área da perfuração, foram aplicadas cores distintas ao material obturador intracanal e ao dente (Figura 32).

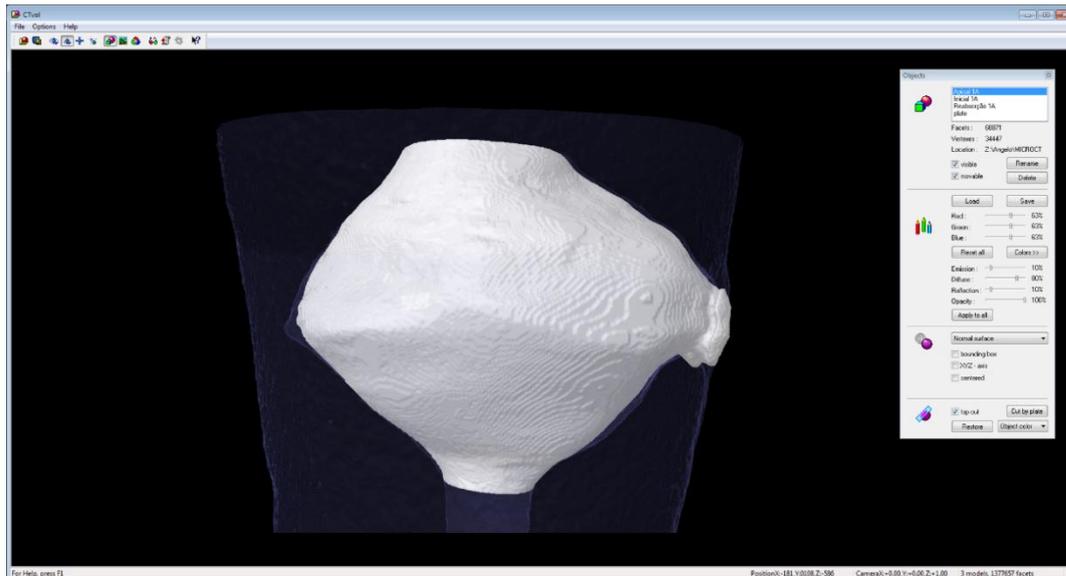


Figura 32. Modelo 3D obtido usando o *software* CTvol.

A avaliação qualiquantitativa do grau de preenchimento da região da perfuração foi realizada por dois examinadores qualificados com experiência em avaliação de imagens de microCT. O processo de calibração consistiu na avaliação de 20% do total das imagens, aleatoriamente selecionadas, sendo alcançado um valor de Kappa de Cohen de 0,791 para a concordância inter-examinador. As imagens foram classificadas de acordo com os seguintes critérios: 1) ótimo: quando a área de perfuração se apresentou 100% preenchida; 2) bom: quando a área de perfuração apresentou de 75 a 100% de preenchimento; 3) razoável: quando a área de perfuração apresentou de 50 a 75% de preenchimento; 4) ruim: quando a área de perfuração apresentou de 50 a 25% de preenchimento; 5) sem preenchimento: quando a área de perfuração apresentou de 25 a 0% de preenchimento (Figura 33).

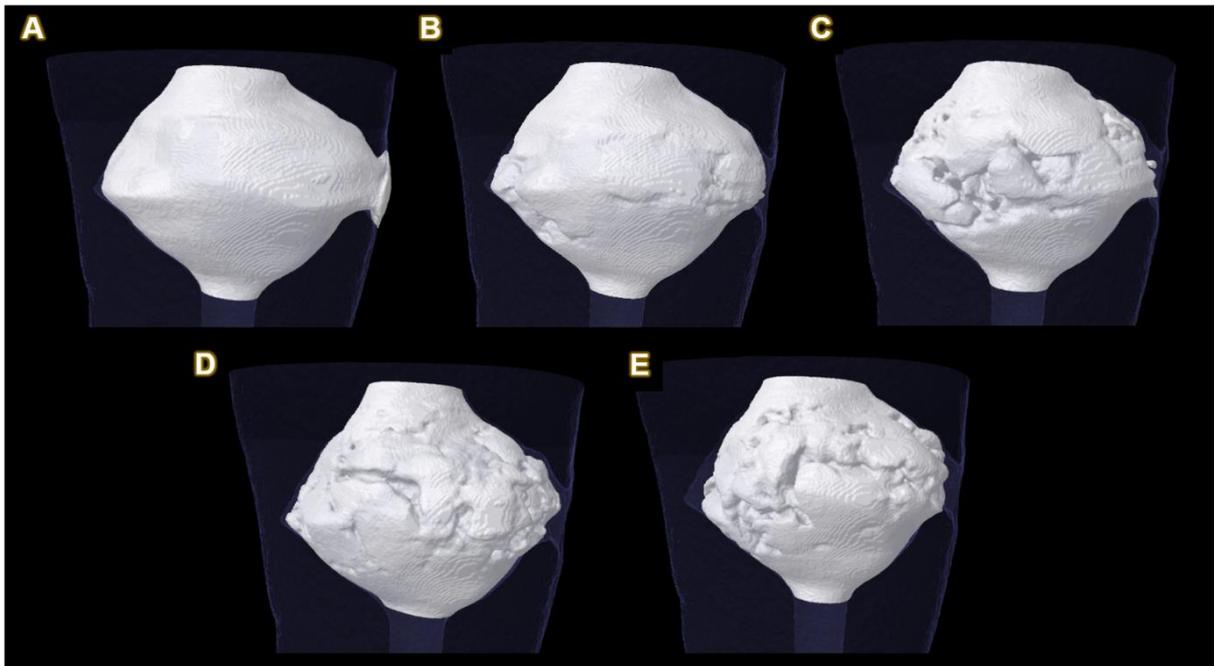


Figura 33. Imagens representativas do grau de preenchimento da região da perfuração: (A) Ótimo, evidenciando 100% de preenchimento; (B) Bom, evidenciando de 75 a 100% de preenchimento; (C) Razoável, evidenciando de 50 a 75% de preenchimento; (D) Ruim, evidenciando de 50 a 25% de preenchimento; (E) Sem preenchimento, evidenciando de 25 a 0% de preenchimento.

Análise da morfologia e da rugosidade superficial por meio de Microscopia Confocal de Varredura a Laser (MCVL)

As amostras foram posicionadas paralelamente à mesa do microscópio confocal de varredura a laser (LEXT OLS4000®, Olympus Corporation, Shinjuku, Tóquio, Japão) com auxílio de lâmina de microscópio e cera utilidade (Figuras 34A e 34B).

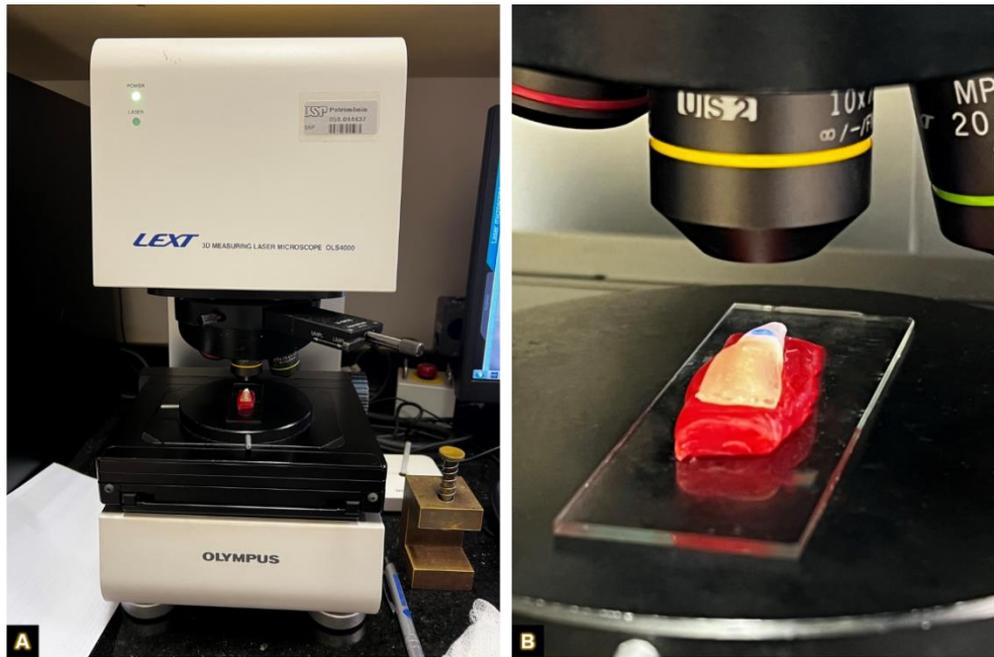


Figura 34. Análise de rugosidade da superfície em MCVL: (A) Microscópio Confocal de Varredura a Laser LEXT OLS4000®; (B) Captura de imagens na área de RIP com ampliação de 10x.

Foi realizada a aquisição das imagens da área de perfuração em aumentos de 5 e 10x por meio do programa OLS4100 (Olympus Corporation, Shinjuku, Tóquio, Japão), tomando-se o cuidado de sempre realizar as imagens posteriores na mesma região da primeira. As imagens em aumento de 10x foram utilizadas para análise da rugosidade superficial na região central da área da perfuração da amostra, padronizada em $381000 \mu\text{m}^2$ (Figura 35). Os dados, em μm , foram obtidos por meio do programa OLS4100.

As mesmas imagens utilizadas na análise quantitativa da rugosidade superficial, também foram utilizadas na análise quali-quantitativa.

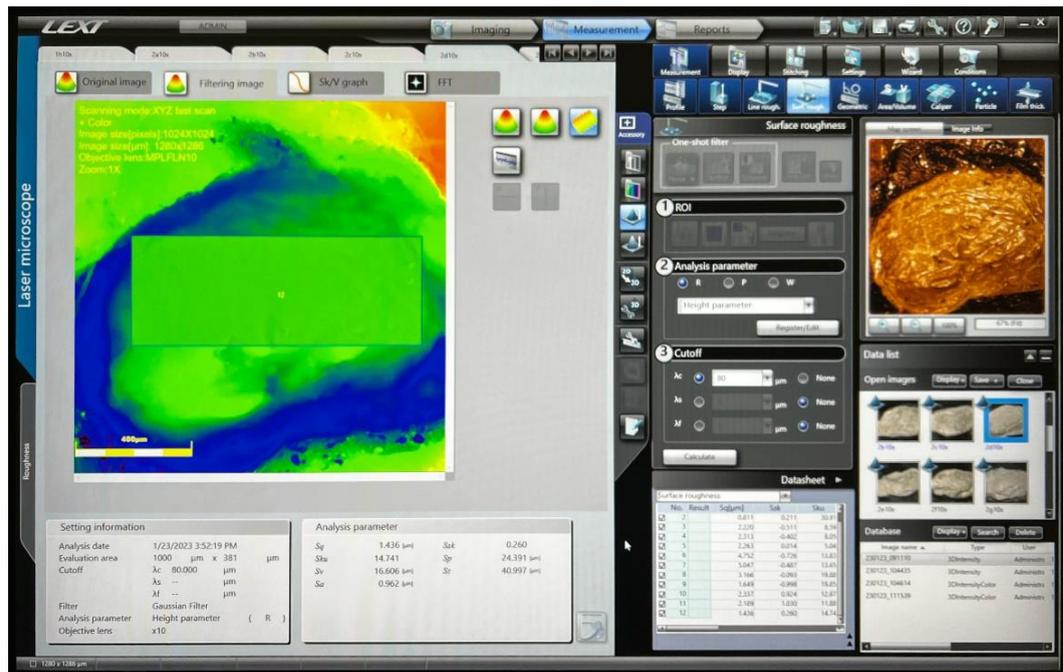


Figura 35. Interface do software OLS4100. Imagem representativa da metodologia utilizada para mensuração da rugosidade superficial.

A avaliação quali-quantitativa da rugosidade da superfície dos cimentos à base de silicato de cálcio na região da perfuração foi realizada por dois examinadores qualificados com experiência em MCVL. O processo de calibração consistiu na avaliação de 20% do total das imagens, aleatoriamente selecionadas, sendo alcançado um valor de Kappa de Cohen de 0,731 para a concordância inter-examinador. Foi criada uma apresentação no PowerPoint (Microsoft Office) das imagens com aumento de 10x, depois a cor de cada uma delas foi alterada para escala de cinza e as imagens foram classificadas de acordo com os seguintes critérios: 1) superfície lisa com predomínio de áreas regulares; 2) superfície com poucos sulcos rasos e sem cavidades; 3) superfície com predomínio de sulcos rasos ou pequenas cavidades; 4) superfície irregular, com sulcos profundos e presença de grandes cavidades (Figura 36).

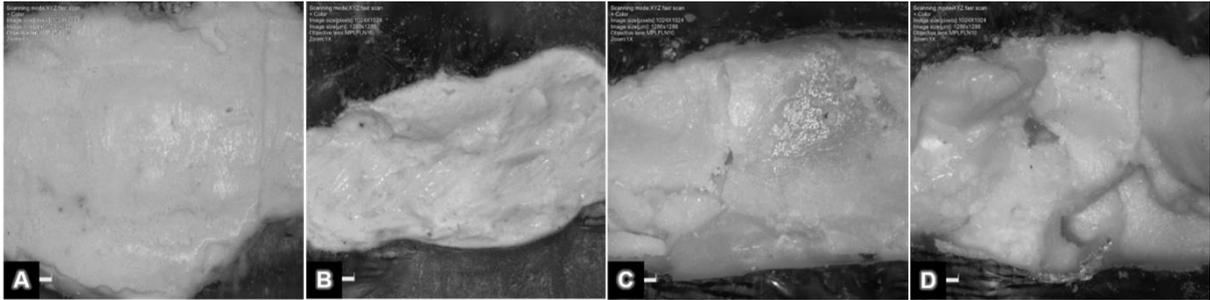


Figura 36. Imagens representativas da regularidade da superfície do material na região de perfuração: (A) Superfície lisa, evidenciando a predominância de áreas regulares; (B) Superfície irregular, evidenciando poucos sulcos rasos e ausência de cavidades; (C) Superfície irregular, evidenciando a predominância de sulcos rasos ou pequenas cavidades; (D) Superfície irregular, evidenciando a predominância de sulcos profundos e presença de grandes cavidades.

Análise Estatística

Para avaliar a influência do fator técnica de obturação (Bio-C Repair, Bio-C Sealer + Bio-C Repair, Biodentine, BioRoot RCS + Biodentine) na porcentagem de espaços vazios, os dados foram expressos em valores médios (e desvios-padrão) e avaliados quanto à normalidade (Shapiro-Wilk, $P > 0,05$) e homogeneidade de variância (Levene, $P > 0,05$). Uma vez que os dados apresentaram distribuição normal, os grupos foram comparados utilizando a análise de variância (ANOVA) *one-way* seguido do pós-teste de Tukey para comparações múltiplas entre os grupos ($P < 0,05$).

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido do pós-teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner para comparações múltiplas foi utilizado para a análise qualitativa dos *scores* do grau de preenchimento do cimento reparador (Bio-C Repair e Biodentine) ($P < 0,05$).

Para avaliar a influência do fator cimento reparador (Bio-C Repair e Biodentine) na rugosidade superficial, os dados foram expressos em valores médios (e desvios-padrão) e avaliados quanto à normalidade (Shapiro-Wilk, $P > 0,05$) e homogeneidade de variância (Levene, $P > 0,05$). Uma vez que os dados apresentaram distribuição normal, os grupos foram comparados utilizando ANOVA

one-way seguido do pós-teste de Tukey para comparações múltiplas entre os grupos ($P < 0,05$).

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido do pós-teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner para comparações múltiplas foi utilizado para a análise qualiquantitativa dos *scores* da rugosidade superficial do cimento reparador ($P < 0,05$).

Toda as análises estatísticas foram realizadas no programa Jamovi v.1.6.23 (The Jamovi Project, Sydney, Austrália), sendo o nível de probabilidade fixado em 95%.

Resultados



Avaliação quantitativa do volume de preenchimento da área de reabsorção interna por microtomografia computadorizada

Considerando o preenchimento da área de reabsorção interna, o teste ANOVA com pós-teste de Tukey evidenciou diferença estatisticamente significativa para as diferentes técnicas obturadoras ($P=0,003$). Maiores porcentagens de preenchimento da área de reabsorção interna foram observadas para os grupos Bio-C Sealer + Bio-C Repair ($96,00 \pm 2,64$) e Bio-C Repair ($95,30 \pm 2,93$), quando comparado ao grupo obturado com BioRoot + Biodentine ($91,50 \pm 1,35$) ($P < 0,05$), sem diferença estatisticamente significativa entre eles ($P > 0,05$). Já o grupo obturado com Biodentine ($92,60 \pm 3,39$) apresentou valores intermediários, sendo ora semelhantes aos grupos Bio-C Sealer + Bio-C Repair e Bio-C Repair e, ora semelhantes ao grupo obturado com BioRoot + Biodentine ($P > 0,05$) (Tabela II).

Tabela II. Média e desvio padrão da porcentagem do volume de preenchimento da área de reabsorção interna para as diferentes técnicas obturadoras.

Cimentos	Porcentagem de preenchimento
Bio-C Sealer + Bio-C Repair	$96,00 \pm 2,64$ A
BioRoot + Biodentine	$91,50 \pm 1,35$ B
Bio-C Repair	$95,30 \pm 2,93$ A
Biodentine	$92,60 \pm 3,39$ AB

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística ao teste de Tukey ($P < 0,05$).

Avaliação quantitativa do volume de preenchimento do terço apical por meio de microtomografia computadorizada

Considerando o preenchimento do terço apical, o teste ANOVA com pós-teste de Tukey evidenciou diferença estatisticamente significativa para as diferentes técnicas obturadoras ($P < 0,001$). Maiores porcentagens de preenchimento do terço apical foram obtidas para os grupos Bio-C Sealer + Bio-C Repair ($89,70 \pm 5,15$), BioRoot + Biodentine ($87,70 \pm 8,43$) e Bio-C Repair ($84,20 \pm 9,00$) quando comparado

ao grupo obturado com Biodentine ($69,70 \pm 6,88$) ($P < 0,05$), sem diferença estatisticamente significativa entre eles ($P > 0,05$) (Tabela III).

Tabela III. Média e desvio padrão da porcentagem do volume de preenchimento do terço apical para as diferentes técnicas obturadoras.

Cimentos	Porcentagem de preenchimento
Bio-C Sealer + Bio-C Repair	$89,70 \pm 5,15$ A
BioRoot + Biodentine	$87,70 \pm 8,43$ A
Bio-C Repair	$84,20 \pm 9,00$ A
Biodentine	$69,70 \pm 6,88$ B

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística ao teste de Tukey ($P < 0,05$).

Avaliação quali-quantitativa do grau de preenchimento da região de perfuração

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido do pós-teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner, evidenciou diferença estatisticamente significativa para os scores referentes aos diferentes graus de preenchimento da região de perfuração ($P < 0,001$). O cimento reparador Bio-C Repair apresentou melhor preenchimento na região de perfuração quando comparado ao cimento Biodentine (Tabela IV).

Tabela IV. Porcentagem de preenchimento dos cimentos reparadores na região de perfuração (valores percentuais).

Cimento reparador	Score	Percentual
Bio-C Repair (Grupos I-III)	1	9,4
	2	40,6
	3	37,6
	4	9,3
	5	3,1
Biodentine (Grupo II-IV)	1	0
	2	6,7
	3	16,7
	4	36,6
	5	40,0

*Critério de preenchimento na região de perfuração: 1= ótimo; 2= bom; 3= razoável; 4= ruim; 5= sem preenchimento.

A análise qualitativa dos modelos tridimensionais evidenciou que o cimento Bio-C Repair apresentou melhor grau de preenchimento da região de perfuração, com menor quantidade de *gaps* e lacunas (Figuras 37A e 37C), quando comparado ao cimento Biodentine. Em relação ao preenchimento com o cimento Biodentine, observou-se pior grau de preenchimento da região de perfuração, com maior quantidade de *gaps* e lacunas (Figuras 37D). Além disso, pôde-se observar a ausência de preenchimento da região de perfuração (Figura 37B).

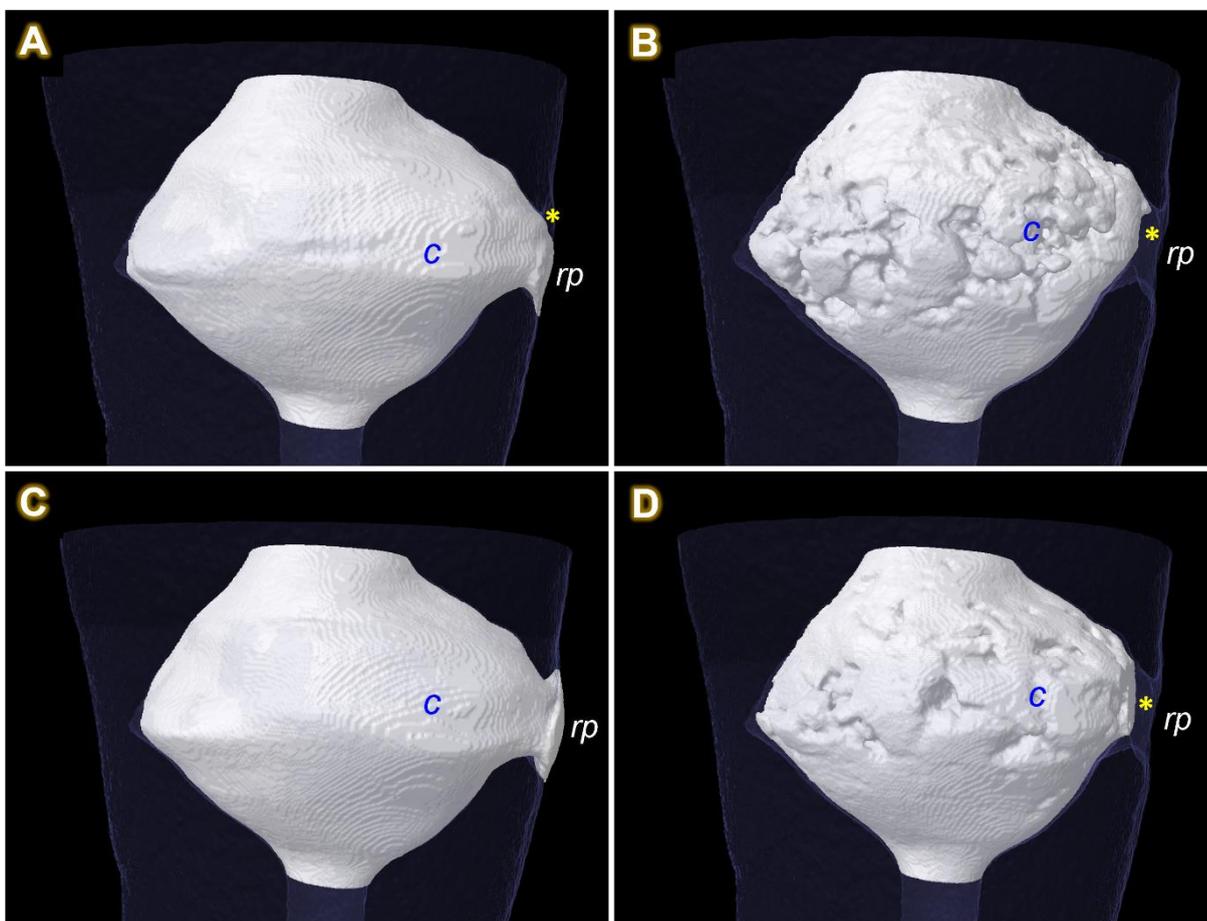


Figura 37. Modelos tridimensionais representativos do preenchimento da região de perfuração dos grupos I, II, III e IV: (A) Modelo referente ao grupo I, preenchido com cimento Bio-C Repair, evidenciando bom preenchimento e *gaps* na região de perfuração (asterisco amarelo); (B) Modelo referente ao grupo II, preenchido com cimento Biodentine, evidenciando ausência de preenchimento e *gaps* na região de perfuração (asterisco amarelo); (C) Modelo referente ao grupo III, preenchido com cimento Bio-C Repair, evidenciando preenchimento completo da região de perfuração; (D) Modelo referente ao grupo IV, preenchido com cimento Biodentine, evidenciando ausência de preenchimento e *gaps* na região de perfuração (asterisco amarelo); Legenda - *rp*: região de perfuração; *c*: cimento reparador.

Avaliação quantitativa da rugosidade superficial dos cimentos reparadores na área da perfuração

Considerando a rugosidade superficial dos cimentos reparadores na região da perfuração, o pós-teste de Tukey evidenciou menor rugosidade superficial para o cimento Bio-C Repair quando comparado ao cimento Biodentine ($P=0,005$) (Tabela V).

Tabela V. Média e desvio padrão da rugosidade superficial dos cimentos reparadores na região de perfuração.

Cimentos	Rugosidade superficial
Bio-C Repair	1,66 ± 0,65 A
Biodentine	2,51 ± 0,89 B

*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística ao teste de Tukey ($P<0,05$).

Avaliação quali-quantitativa da rugosidade superficial dos cimentos reparadores

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido do pós-teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner, não evidenciou diferença estatisticamente significativa para a rugosidade superficial dos cimentos reparadores Bio-C Repair e Biodentine na região de perfuração ($P=0,454$).

A análise qualitativa das fotomicrografias evidenciou que o preenchimento da região de perfuração com o cimento Bio-C Repair resultou tanto em superfícies lisas e regulares (Figuras 38A e 38B), quanto em superfícies irregulares (Figuras 38D e 38E). A topografia da superfície evidenciou tanto superfícies lisa, com ausência de sulcos e lacunas (Figura 38C), quanto superfícies irregulares, com sulcos profundos (Figura 38F).

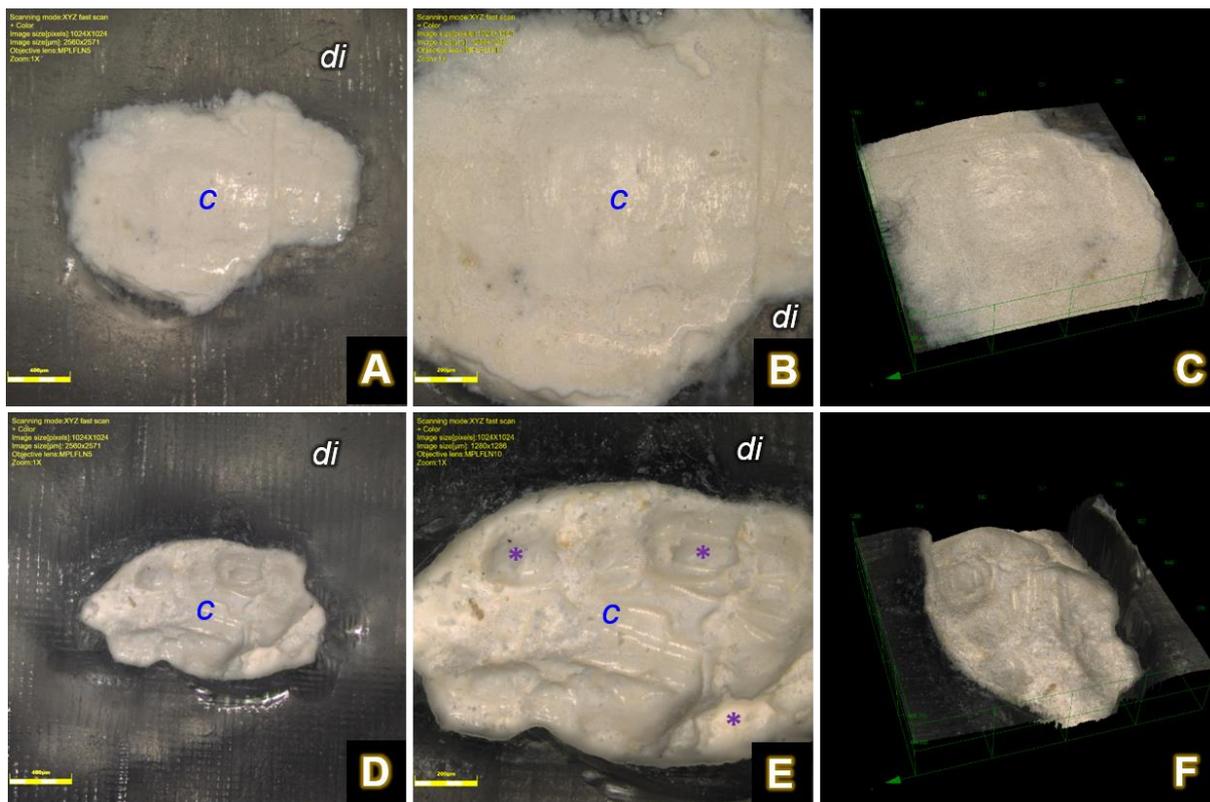


Figura 38. Fotomicrografias representativas da superfície do cimento reparador Bio-C Repair na região de perfuração dos grupos I e III: (A) Imagem da região da perfuração preenchida com cimento Bio-C Repair, evidenciando superfície lisa (5x); (B) Imagem da região da perfuração preenchida com cimento Bio-C Repair, evidenciando superfície lisa (10x); (C) Topografia do cimento Bio-C Repair evidenciando superfície lisa, com ausência de sulcos e lacunas; (D) Imagem da região da perfuração preenchida com cimento Bio-C Repair, evidenciando superfície com irregularidades (5x); (E) Imagem da região da perfuração preenchida com cimento Bio-C Repair, evidenciando superfície com irregularidades (asteriscos roxos) (10x); (F) Topografia do cimento Bio-C Repair evidenciando sulcos profundos; Legenda - *di*: dente impresso; *c*: cimento reparador.

Em relação ao preenchimento com o cimento Biodentine, foram observadas superfícies irregulares (Figuras 39A e 39D), com presença de sulcos rasos (Figura 39B) e cavidades (Figura 39E). A topografia da superfície evidenciou superfícies irregulares, com presença de sulcos rasos (Figuras 39C e 39F).

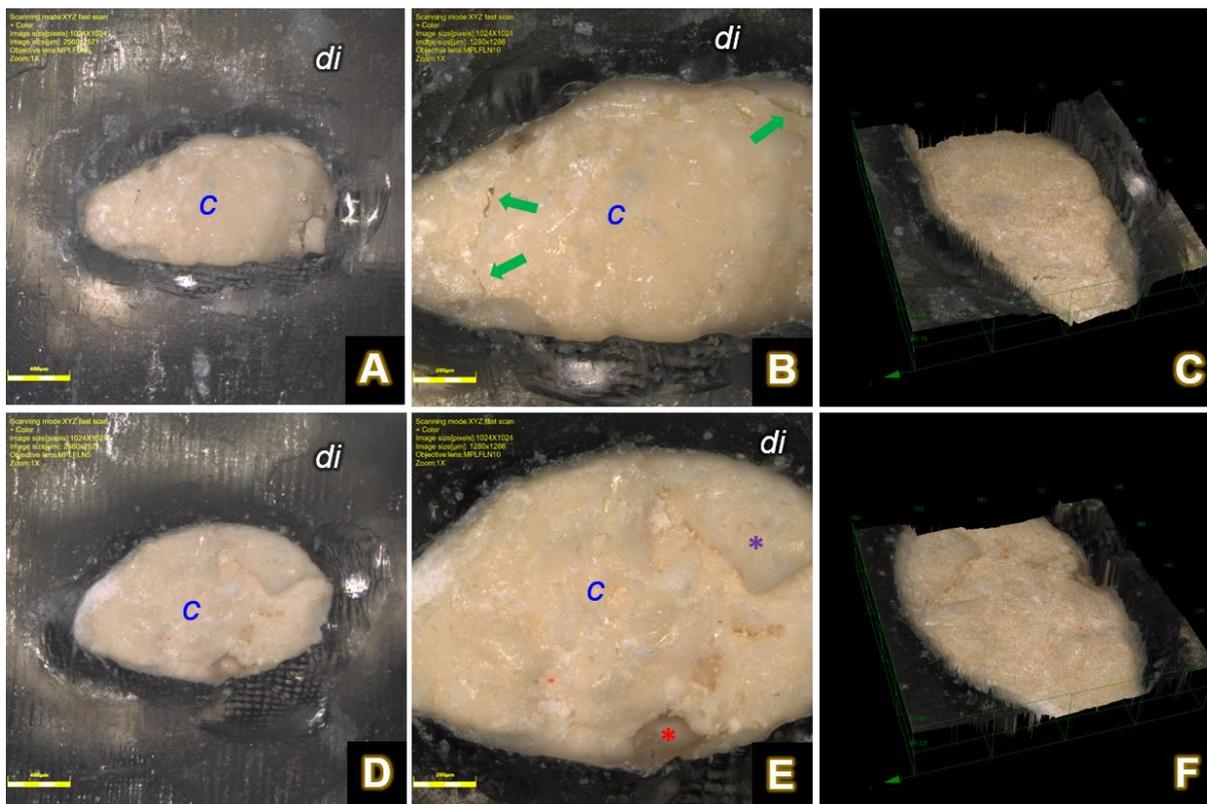


Figura 39. Fotomicrografias representativas da superfície do cimento reparador Biodentine na região de perfuração dos grupos II e IV: (A) Imagem da região da perfuração preenchida com cimento cimento Biodentine, evidenciando superfície irregular (5x); (B) Imagem da região da perfuração preenchida com cimento Biodentine, evidenciando superfície irregular, com sulcos rasos (setas verdes) (10x); (C) Topografia do cimento Biodentine evidenciando superfície irregular, com sulcos rasos; (D) Imagem da região da perfuração preenchida com cimento Biodentine, evidenciando superfície com irregularidades (5x); (E) Imagem da região da perfuração preenchida cimento Biodentine, evidenciando superfície irregular (asterisco roxo) e presença de cavidade (asterisco vermelho) (10x); (F) Topografia do cimento Biodentine evidenciando superfície irregular; Legenda - *di*: dente impresso; *c*: cimento reparador.

Discussão



Diante dos casos de reabsorção interna, a natureza côncava e irregular da área de reabsorção (GABOR et al., 2012) dificulta o acesso às paredes dos canais radiculares (TEK; TÜRKER, 2019) para que se obtenha o adequado preparo biomecânico e subsequente selamento tridimensional (INGLE, 1958; DE-DEUS et al., 2022). Para a obturação de dentes com reabsorção interna perfurante, devido à comunicação do canal radicular com os tecidos perirradiculares, é necessário que o material obturador apresente biocompatibilidade e propriedades bioativas (ESTRELA et al., 2023; SAMPAIO et al., 2023; SILVA et al., 2023), além de selar adequadamente o sistema de canais radiculares (TEK; TÜRKER, 2019; KÜÇÜKKAYA et al., 2019; YAZDI; AMINSOBHANI; ALEMI, 2018; ZHANG et al., 2021). Dessa forma, torna-se importante estudar as diferentes técnicas e materiais disponíveis para a obturação de dentes com reabsorção interna perfurante com o objetivo de auxiliar o profissional no planejamento do tratamento endodôntico.

Para simulação da reabsorção interna *in vitro*, os estudos têm confeccionado a cavidade de reabsorção mediante o uso de brocas (KELES et al., 2014; TOPÇUOĞLU et al., 2015; KÜÇÜKKAYA et al., 2019; YAZDI; AMINSOBHANI; ALEMI, 2018), o que resulta em cavidades com limites uniformes e regulares (STEPHANOPOULOS; MIKROGEORGIS; LYROUDIA, 2011; KÜÇÜKKAYA EREN et al., 2019). Considerando que clinicamente o processo natural de reabsorção radicular interna não apresenta comportamento progressivo regular PATEL et al. (2010) e DA SILVEIRA et al. (2014), simularam cavidades de reabsorção interna de formato irregular por meio de desmineralização com ácido nítrico a 5%, entretanto, o método apresenta como desvantagem a dificuldade de padronização das cavidades confeccionadas nas amostras. Diante das limitações dos métodos empregados para simulação das reabsorções internas, no presente estudo a cavidade de reabsorção

interna perfurante com limites irregulares foi obtida por meio de réplicas tridimensionais impressas a partir de imagem 3D de dente humano obtida por microCT.

Na área da saúde, o fluxo de trabalho digital compreende três estágios: aquisição de imagens, modelagem e impressão tridimensional (SALAZAR-GAMARRA et al., 2022a; SALAZAR-GAMARRA et al., 2022b; EYZAGUIRRE et al., 2023), assim, torna-se necessário discutir alguns aspectos metodológicos empregados no presente estudo. Inicialmente, um incisivo central superior hígido foi submetido ao preparo biomecânico seguido de aquisição de imagens por microCT (GOK et al. 2017; PETERS et al., 2021; DE-DEUS et al., 2022). A partir do escaneamento, foi realizada a modelagem tridimensional, que se refere ao desenvolvimento de uma "representação matemática" de qualquer superfície de um objeto em três dimensões por meio de um *software* especializado (SALAZAR-GAMARRA et al., 2022a; SALAZAR-GAMARRA et al., 2022b; EYZAGUIRRE et al., 2023). A modelagem 3D da reabsorção interna perfurante foi realizada a partir do arquivo stl., obtido do escaneamento do incisivo superior, por meio do programa Blender® com auxílio de medições precisas do programa. A reabsorção interna perfurante foi modelada na região central do terço médio da raiz com base em os dados de prevalência disponíveis na literatura (CALIŞKAN; TÜRKÜN, 1997; PATEL et al., 2010; GABOR et al., 2012).

Após a realização da modelagem as amostras foram obtidas por meio da tecnologia de impressão 3D. Dentre as técnicas de impressão 3D disponíveis, têm-se a 3D *Photopolymer jetting* (*Polyjet*), o processamento digital de luz (DLP) e a estereolitografia (SLA). O processamento digital de luz (DLP) e a estereolitografia (SLA) funcionam polimerizando a resina fotossensível no fundo de um tanque

(GROTH et al., 2014; KESSLER; HICKEL; REYMUS, 2020). A tecnologia DLP usa um dispositivo digital de micro espelhos que projeta luz ultravioleta e fotopolimeriza uma camada inteira, enquanto a SLA trabalha com um feixe de laser UV que polimeriza a resina de um ponto a outro (KESSLER; HICKEL; REYMUS, 2020; KHORSANDI et al., 2021). Esses diferentes processos de polimerização resultam em uma impressão rápida com DLP, em contraste com a maior precisão e a melhor qualidade com SLA. Entretanto, a resolução na impressão DLP pode ser maior uma vez que o tamanho mínimo do pixel é menor do que o do feixe de laser (KESSLER; HICKEL; REYMUS, 2020), de forma que não se atribui a nenhuma das técnicas superioridade fundamental sobre a outra (KESSLER; HICKEL; REYMUS, 2020; KHORSANDI et al., 2021). Assim, considerando a maior resolução da técnica DLP, essa foi a técnica de escolha no presente estudo.

Destaca-se que para simular os tecidos perirradiculares subjacentes no momento da obturação (TOIA et al., 2022), os dentes foram posicionados em manequim odontológico com auxílio de gesso acrescido de serragem para simulação do osso alveolar, e gel de agarose para simular o ligamento periodontal (KOOANANTKUL; SHELTON; CAMILLERI, 2023). Além disso, o manequim foi colocado em posição reclinada para simular a posição clínica do paciente durante o tratamento endodôntico (AHMED; JOUHAR, 2021). Os dentes impressos foram obturados com o auxílio de microscópio cirúrgico odontológico (BORTOLUZZI et al., 2007; SILVEIRA et al., 2009), uma vez que proporciona visão direta do terço apical e facilita a determinação da extensão da obturação da área de reabsorção interna.

Para avaliar a qualidade da obturação, estudos anteriores utilizaram métodos radiográficos (GOLDBERG et al., 2000), programas de análise de imagens (GENCOGLU et al., 2008; YAZDI; AMINSOBHANI; ALEMI, 2018), e dentes

seccionados incluídos em bloco de resina acrílica (KULILD et al., 2007). Entretanto, esses métodos de pesquisa permitem análises bidimensionais, dificultando a adequada avaliação da capacidade de preenchimento da obturação do canal radicular, principalmente na área da reabsorção (KELES; AHMETOGLU; UZUN, 2014). A análise por microCT de alta resolução é um método não invasivo e altamente preciso que tem sido usado para a avaliação tridimensional de microestruturas (HUANG et al., 2019), e que permite diferenciar a parede da dentina dos materiais de preenchimento e dos espaços vazios usando limites de escala de cinza (JUNG; LOMMEL; KLIMEK, 2005). Devido à diferença de radiopacidade entre a resina e a dentina (REYMUS et al., 2020; HÜLSMANN, 2022; REIS et al., 2022), os intervalos de densidade foram definidos em uma ampla faixa (variando de 80 a 255). A região de interesse (ROI) e o volume de interesse (VOI) foram definidos com um comprimento de 3 mm (terço apical) e 6 mm (área de RIP) para manter as regiões de interesse das amostras padronizadas.

De forma complementar à análise de preenchimento, foi analisada quantitativa e qualitativamente a rugosidade da superfície dos cimentos reparadores na área da perfuração por meio de fotomicrografias obtidas por microscopia confocal de varredura a laser (MCVL). Na MCVL, a imagem é formada pela reflexão do laser que incide sobre a superfície da amostra, eliminando as estruturas fora de foco na formação da imagem, deixando-a com boa definição, contraste e profundidade de campo (GARCÍA-HERRAIZ et al., 2012; BRITO-JÚNIOR et al., 2015).

Em relação aos resultados do volume de preenchimento da área da reabsorção interna, a técnica híbrida do grupo I (Bio-C Sealer + Bio-C Repair) e a técnica incremental do grupo III (Bio-C Repair) obtiveram os maiores resultados quando comparado ao grupo II (BioRoot + Biodentine), sendo o grupo IV

(Biodentine) ora semelhante aos grupos I e III, e ora semelhante ao grupo II. Além disso, na avaliação do grau de preenchimento da região da perfuração realizada por meio de *scores*, os melhores resultados foram observados para os grupos preenchidos com cimento Bio-C Repair. Ainda, para o terço apical, a técnica incremental do grupo III (Biodentine) resultou no menor volume de preenchimento em relação aos demais grupos. Esses resultados estão provavelmente relacionados com às diferenças na apresentação, forma de manipulação e tempo de endurecimento dos materiais reparadores avaliados no presente estudo. Sugere-se que a forma de pré-mistura em que o Bio-C Repair é comercializado pode reduzir o aprisionamento de ar no material, favorecendo a homogeneidade da mistura, e assim proporcionar melhor adaptação às paredes do canal, bem como menor quantidade de espaços vazios (MOINZADEH et al., 2016). Além disso, de acordo com o fabricante, o tempo de endurecimento do Biodentine é de 12 minutos, de forma que, a partir da manipulação e remoção do material da cápsula, sua consistência começa a alterar, o que pode dificultar a compactação adequada desse material (ASGARY; NOSRAT, 2016; KÜÇÜKKAYA et al., 2019), principalmente nos casos de reabsorções extensas, deixando áreas sem preenchimento e superfícies de cimento irregulares. Já o cimento Bio-C Repair é um cimento pré-misturado, sendo cada incremento removido da seringa imediatamente antes do uso, além de apresentar tempo de endurecimento de 120 minutos, de acordo com o fabricante, o que mantém a consistência e homogeneidade do material durante a etapa de obturação, facilitando o manuseio (ASGARY; NOSRAT, 2016) e diminuindo a porosidade (GUO et al., 2016).

Em relação à rugosidade da superfície dos cimentos de reparo na região da perfuração, a avaliação quantitativa mostrou menor rugosidade da superfície para o

cimento Bio-C Repair quando comparado ao cimento Biodentine, com resultados estatisticamente significativos. A rugosidade da superfície dos materiais reparadores pode interferir na adesão celular dos tecidos dentários (ZARRA et al., 2018), de forma que as superfícies micro rugosas podem ser vantajosas para a adesão inicial de células e tecidos (BELAL et al., 2007; RALDI et al., 2010; EICK et al., 2013; MUELLER et al., 2017). Por outro lado, as irregularidades produzem um ambiente favorável para a adesão bacteriana (OTA-TSUZUKI et al., 2009; DANGARIA et al., 2011), o que pode ser prejudicial nos casos em que os cimentos à base de silicato tricálcico com superfícies rugosas são utilizados em cavidades infectadas, com bactérias remanescentes (ZARRA et al., 2018).

Ainda, em relação ao preenchimento do terço apical, os resultados evidenciaram que a técnica híbrida dos grupos I (Bio-C Sealer + Bio-C Repair) e II (BioRoot + Biodentine), bem como a técnica incremental do grupo III (Bio-C Repair) apresentaram os maiores percentuais de volume de preenchimento. O preenchimento obtido com a técnica híbrida, independentemente dos materiais utilizados, está provavelmente relacionado ao uso do cone de guta-percha, um material sólido que apresenta tamanho e forma semelhantes ao canal radicular no terço apical (ATMEH et al., 2022), deixando pequena espessura para preenchimento pelo cimento obturador. Ressalta-se que, a aplicação do cimento Bio-C Sealer com seringa aplicadora diretamente no canal radicular e a inserção do cimento BioRoot no canal com cone mestre, seguindo as orientações dos fabricantes, embora sejam técnicas diferentes não influenciaram na qualidade da obturação do terço apical. Os resultados obtidos corroboram com estudos prévios, nos quais não foram encontradas diferenças entre os métodos de aplicação do cimento obturador (WIEMANN; WILCOX, 1991; BAŞER; KELEŞ; ASLAN, 2017; ATMEH et al., 2022).

A reabsorção interna perfurante é uma condição clínica desafiadora pela dificuldade de acesso às paredes dos canais radiculares para obtenção de adequado selamento durante a obturação (GABOR et al., 2012; TEK; TÜRKER, 2019). Tendo em vista a evolução dos materiais e técnicas disponíveis para obturação nos casos de reabsorção interna perfurante, estudos são necessários para auxiliar a tomada de decisões clínicas durante o planejamento do tratamento endodôntico. Considerando as limitações dos métodos de simulação *in vitro* das reabsorções internas nos estudos prévios que avaliam a qualidade da obturação, o uso de réplicas tridimensionais impressas de dentes humanos a partir da aquisição da imagem em microCT e modelagem da área da reabsorção, utilizado no presente estudo, possibilitou a padronização das amostras e reprodução da anatomia interna de dentes com reabsorção interna perfurante. Assim, no presente estudo, a obturação de dentes com reabsorção interna perfurante pela a técnica incremental usando Bio-C Repair e técnica híbrida com Bio-C Sealer / guta-percha + Bio C- Repair foram apresentadas como alternativas promissoras, uma vez que foram capazes de preencher efetivamente tanto a área da reabsorção interna perfurante como o terço apical do canal radicular. Já o cimento reparador Biodentine não foi adequado para obturação com a técnica incremental, indicando que a formulação e as propriedades do material de escolha interferem diretamente na qualidade do selamento. Entretanto, estudos clínicos são necessários para verificar o comportamento de dentes com reabsorção interna perfurante em função e sob a influência do ambiente bucal após obturação com esses materiais e técnicas, bem como para avaliação do reparo dos tecidos periapicais.

Conclusões



Baseado na metodologia utilizada e nos resultados obtidos no presente estudo, é possível concluir que:

- Para o volume do preenchimento da área da reabsorção interna, a obturação com a técnica híbrida com os cimentos Bio-C Sealer/guta-percha + Bio-C Repair e a técnica incremental com o cimento Bio-C Repair resultaram nas maiores porcentagens de preenchimento em relação aos demais grupos; já para o volume de preenchimento do terço apical, a obturação com a técnica incremental com o cimento Biodentine resultou em menor porcentagem de preenchimento em relação aos demais grupos;
- Para a avaliação do grau de preenchimento na área de perfuração, a obturação com o cimento Bio-C Repair apresentou melhor capacidade de preenchimento e qualidade de obturação quando comparado ao cimento Biodentine;
- Para a rugosidade da superfície dos cimentos reparadores na área de perfuração, a avaliação quantitativa evidenciou que o cimento Bio-C Repair apresentou menor rugosidade superficial em relação ao cimento Biodentine. Já a análise qualiquantitativa por meio de scores não evidenciou diferença estatisticamente significativa entre os cimentos reparadores na área de perfuração.

Referências



ABBOTT, P. V.; LIN, S. Tooth Resorption-Part 2: A clinical classification. **Dent Traumatol**, v. 38, n. 4, p. 267-285, 2022.

AHMED, M. A.; JOUHAR, R. Dissemination of Aerosol and Splatter in Clinical Environment during Cavity Preparation: An In Vitro Study. **Int J Environ Res Public Health**, v. 18, n. 7, 3773, 2021.

AIDOS, H.; DIOGO, P.; SANTOS, JM. Root Resorption Classifications: A Narrative Review and a Clinical Aid Proposal for Routine Assessment. **Eur Endod J**, v. 3, n. 3, p. 134-145, 2018.

ANDREASEN, J. O. Luxation of permanent teeth due to trauma. A clinical and radiographic follow-up study of 189 injured teeth. **Scand J Dent Res**, v. 78, n. 3, p. 273-286, 1970.

ASGARY, S.; NOSRAT, A. Conservative Management of Class 4 Invasive Cervical Root Resorption Using Calcium-enriched Mixture Cement. **J Endod**, v. 42, n. 8, p. 1291-1294, 2016.

ATMEH, A. R.; ALHARBI, R.; ALJAMAAN, I.; ALAHMARI, A.; SHETTY, A. C.; JAMLEH, A.; FAROOQ I. The Effect of Sealer Application Methods on Voids Volume after Aging of Three Calcium Silicate-Based Sealers: A Micro-Computed Tomography Study. **Tomography**, v. 8, n. 2, p. 778-788, 2022.

BAŞER CAN, E. D.; KELEŞ, A.; ASLAN, B. Micro-CT evaluation of the quality of root fillings when using three root filling systems. **Int Endod J**, v. 50, n. 5, p. 499-505, 2017.

BELAL, M. H.; WATANABE, H.; ICHINOSE, S.; ISHIKAWA, I. Effect of Er:YAG laser combined with rhPDGF-BB on attachment of cultured fibroblasts to periodontally involved root surfaces. **J Periodontol**, v. 78, n. 7, p. 1329-1341, 2007.

BER, B. S.; HATTON, J. F.; STEWART, G. P. Chemical modification of proroot mta to improve handling characteristics and decrease setting time. **J Endod**, v. 33, n. 10, p. 1231-1234, 2007.

BHUVA, B.; BARNES, J. J.; PATEL, S. The use of limited cone beam computed tomography in the diagnosis and management of a case of perforating internal root resorption. **Int Endod J**, v. 44, n. 8, p. 777-786, 2011.

BORTOLUZZI, E. A., ARAÚJO, G. S., GUERREIRO TANOMARU, J. M., TANOMARU-FILHO, M. Marginal gingiva discoloration by gray MTA: a case report. **J Endod**, v. 33, n. 3, 325-327, 2007.

BRITO-JÚNIOR, M.; LEONI, G. B.; PEREIRA, R. D.; FARIA E SILVA, A. L.; GOMES, E. A.; SILVA-SOUSA, Y. T.; SOUSA-NETO, M. D. A Novel Dentin Push-out Bond Strength Model That Uses Micro-Computed Tomography. **J Endod**, v. 41, n. 12, p. 2058-2063, 2015.

CALIŞKAN, M. K.; TÜRKÜN, M. Prognosis of permanent teeth with internal resorption: a clinical review. **Endod Dent Traumatol**, v. 13, n. 2, p. 75-81, 1997.

- CAMILLERI, J. Current Classification of Bioceramic Materials in Endodontics. In: DRUKTEINIS, S.; CAMILLERI, J. Bioceramic materials in clinical endodontics, 1st edn. Cham, Switzerland. **Springer**, 2021.
- CUI, Z.; WEI, Z.; DU, M.; YAN, P.; JIANG, H. Shaping ability of protaper next compared with wavreone in late-model three-dimensional printed teeth. **BMC Oral Health**, v. 18, n. 1, p. 1-15, 2018.
- DA SILVEIRA, P. F.; VIZZOTTO, M. B.; MONTAGNER, F.; DA SILVEIRA, H. L.; DA SILVEIRA, H. E. Development of a new in vitro methodology to simulate internal root resorption. **J Endod**, v. 40, n. 2, p. 211-216, 2014.
- DANGARIA, S. J.; ITO, Y.; LUAN, X.; DIEKWISCH, T. G. Successful periodontal ligament regeneration by periodontal progenitor preseeding on natural tooth root surfaces. **Stem Cells Dev**, v. 20, n. 10, p. 1659-1668, 2011.
- DAWOOD, A.; MARTI MARTI, B.; SAURET-JACKSON, V.; DARWOOD, A. 3D printing in dentistry. **Br Dent J**, v. 219, n. 11, p. 521-529, 2016.
- DAWOOD, A. E.; PARASHOS, P.; WONG, R. H. K.; REYNOLDS, E. C.; MANTON D. J. Calcium silicate-based cements: composition, properties, and clinical applications. **J Investig Clin Dent**, v. 8, n. 2, e12195, 2017.
- DE-DEUS, G.; SOUZA, E. M.; SILVA, E. J. N. L.; BELLADONNA, F. G.; SIMÕES-CARVALHO, M.; CAVALCANTE, D. M.; VERSIANI, M. A. A critical analysis of research methods and experimental models to study root canal fillings. **Int Endod J**, v. 55, n. 2, p. 384-445, 2022.
- DRUKTEINIS, S. Bioceramic Materials for Management of Endodontic Complications. In: DRUKTEINIS, S.; CAMILLERI, J. Bioceramic materials in clinical endodontics, 1st edn. Cham, Switzerland. **Springer**, 2021.
- EE, J.; FAYAD, M. I.; JOHNSON, B. R. Comparison of endodontic diagnosis and treatment planning decisions using cone-beam volumetric tomography versus periapical radiography. **J Endod**, v. 40, n. 7, p. 910-916, 2014.
- EICK, S.; BENDER, P.; FLURY, S.; LUSSI, A.; SCULEAN, A. In vitro evaluation of surface roughness, adhesion of periodontal ligament fibroblasts, and *Streptococcus gordonii* following root instrumentation with Gracey curettes and subsequent polishing with diamond-coated curettes. **Clin Oral Investig**, v. 17, n. 2, p. 397-404, 2013.
- ESTRELA, C.; CINTRA, L. T. A.; DUARTE, M. A. H.; ROSSI-FEDELE, G.; GAVINI, G.; SOUSA-NETO, M. D. Mechanism of action of Bioactive Endodontic Materials. **Braz Dent J**, v. 34, n. 1, p. 1-11, 2023.
- EYZAGUIRRE, D.; SALAZAR-GAMARRA, R.; BINASCO, S.; DIB, L. L. Evaluation of additive manufacturing processes in the production of oculo-palpebral prosthesis. **F1000Res**, 11:505, 2023.

- FRIEDMAN, S.; ROTSTEIN, I.; LIBFELD, H.; STABHOLZ, A.; HELING, I. Incidence of external root resorption and esthetic results in 58 bleached pulpless teeth. **Endod Dent Traumatol**, v. 4, n. 1, p. 23-26, 1988.
- GABOR, C.; TAM, E.; SHEN, Y.; HAAPASALO, M. Prevalence of internal inflammatory root resorption. **J Endod**, v. 38, n. 1, p. 24-27, 2012.
- GARCÍA-HERRAIZ, A.; LEIVA-GARCÍA, R.; CAÑIGRAL-ORTIZ, A.; SILVESTRE, FJ.; GARCÍA-ANTÓN, J. Confocal laser scanning microscopy for the study of the morphological changes of the postextraction sites. **Microsc Res Tech**, v. 75, n. 4, p. 513-519, 2012.
- GARTNER, A. H.; MACK, T.; SOMERLOTT, R. G.; WALSH, L. C. Differential diagnosis of internal and external root resorption. **J Endod**, v. 2, n. 11, p. 329-334, 1976.
- GENCOGLU, N.; YILDIRIM, T.; GARIP, Y.; KARAGENC, B.; YILMAZ, H. Effectiveness of different gutta-percha techniques when filling experimental internal resorptive cavities. **Int Endod J**, v.41, n. 10, 836-842, 2008.
- GOK, T.; CAPAR, I. D.; AKCAY, I.; KELES, A. Evaluation of Different Techniques for Filling Simulated C-shaped Canals of 3-dimensional Printed Resin Teeth. **J Endod**, v. 43, n. 9, p. 1559-1564, 2017.
- GOLDBERG, F.; MASSONE, E. J.; ESMORIS, M.; ALFIE, D. Comparison of different techniques for obturating experimental internal resorptive cavities. **Endod Dent Traumatol**, v.16, n. 3, 116-121, 2000.
- GROTH, C.; KRAVITZ, N. D.; JONES, P. E.; GRAHAM, J. W.; REDMOND, W. R. Three-dimensional printing technology. **J Clin Orthod**, v. 48, n. 8, p. 475-485, 2014.
- GUO, Y. J.; DU, T. F.; LI, H. B.; SHEN, Y.; MOBUCHON, C.; HIEAWY, A.; WANG, Z. J.; YANG, Y.; M. A, J.; HAAPASALO, M. Physical properties and hydration behavior of a fast-setting bioceramic endodontic material. **BMC Oral Health**, v. 16, n. 23, p. 1-6, 2016.
- HAAPASALO, M.; ENDAL, U. Internal inflammatory root resorption: the unknown resorption of the tooth. **Endod Topics**, v. 14, p. 60-79, 2006.
- HAKKI, S. S.; BOZKURT, S. B.; HAKKI, E. E.; BELLI, S. Effects of mineral trioxide aggregate on cell survival, gene expression associated with mineralized tissues, and biomineralization of cementoblasts. **J Endod**, v. 35, n. 4, p. 513-519, 2009.
- HEITHERSAY, G. S. Invasive cervical resorption: an analysis of potential predisposing factors. **Quintessence Int**, v. 30, n. 2, p. 83-95, 1999.
- HSIEN, H. C.; CHENG, Y. A.; LEE, Y. L.; LAN, W. H.; LIN, C. P. Repair of perforating internal resorption with mineral trioxide aggregate: a case report. **J Endod**, v. 29, n. 8, p. 538-539, 2003.

HUANG, Z.; QUAN, J.; LIU, J.; ZHANG, W.; ZHANG, X.; HU, X. A microcomputed tomography evaluation of the shaping ability of three thermally-treated nickel-titanium rotary file systems in curved canals. **J Int Med Res**, v. 47, n. 1, p. 325-334, 2019.

HÜLSMANN, M. A critical appraisal of research methods and experimental models for studies on root canal preparation. **Int Endod J**, v. 55, n. 1, p. 95-118, 2022.

INGLE, J. I.; ZELDOW, B. J. An evaluation of mechanical instrumentation and the negative culture in endodontic therapy. **J Am Dent Assoc**, v. 57, n. 4, p. 471-476, 1958.

JACOBOVITZ, M.; DE LIMA, R. K. Treatment of inflammatory internal root resorption with mineral trioxide aggregate: a case report. **Int Endod J**, v. 41, n. 10, p. 905-912, 2008.

JUNG, M.; LOMMEL, D.; KLIMEK, J. The imaging of root canal obturation using micro-CT. **Int Endod J**, v. 38, n. 9, p. 617-626, 2005.

KAMBUROĞLU, K.; KURSUN, S. A comparison of the diagnostic accuracy of CBCT images of different voxel resolutions used to detect simulated small internal resorption cavities. **Int Endod J**, v. 43, n. 9, p. 798-807, 2010.

KARATEKIN, A. Ö.; KELES, A.; GENÇOĞLU, N. Comparison of continuous wave and cold lateral condensation filling techniques in 3D printed simulated C-shape canals instrumented with Reciproc Blue or Hyflex EDM. **PloS one**, v. 14, n. 11, p. 1-22, 2019.

KELES, A.; AHMETOĞLU, F.; UZUN, I. Quality of different gutta-percha techniques when filling experimental internal resorptive cavities: a micro-computed tomography study. **Aust Endod J**, v. 40, n. 3, p. 131-135, 2014.

KESSLER, A.; HICKEL, R.; REYMUS, M. 3D Printing in Dentistry-State of the Art. **Oper Dent**, v. 45, n. 1, p. 30-40, 2020.

KHORSANDI, D.; FAHIMIPOUR, A.; ABASIAN, P.; SABER, S. S.; SEYEDI, M.; GHANAVATI, S.; AHMAD, A.; DE STEPHANIS, A. A.; TAGHAVINEZHADDILAMI, F.; LEONOVA, A.; MOHAMMADINEJAD, R.; SHABANI, M.; MAZZOLAI, B.; MATTOLI, V.; TAY, F. R.; MAKVANDI, P. 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications. **Acta Biomater**, v. 122, p. 26-49, 2021.

KOOANANTKUL, C.; SHELTON, RM.; CAMILLERI, J. Comparison of obturation quality in natural and replica teeth root-filled using different sealers and techniques. **Clin Oral Investig**, v. 27, n. 5, p. 2407-2417, 2023.

KÜÇÜKKAYA EREN, S.; AKSEL, H.; ASKERBEYLI ÖRS, S.; SERPER, A.; KOÇAK, Y.; OCAK, M.; ÇELİK, H. H. Obturation quality of calcium silicate-based cements placed with different techniques in teeth with perforating internal root resorption: a micro-computed tomographic study. **Clin Oral Investig**, v. 23, n. 2, p. 805-811, 2019.

KULILD, J.; LEE, C.; DRYDEN, J.; COLLINS, J.; FEIL, P. A comparison of 5 gutta-percha obturation techniques to replicate canal defects. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v.103, n. 1, e28-e32, 2007.

LINDSKOG, S.; PIERCE, AM.; BLOMLOF, L.; HAMMARSTROM, L. The role of the necrotic periodontal membrane in cementum resorption and ankylosis. **Endod Dent Traumatol**, v. 1, n. 3, p. 96-101, 1985.

LIU, H.; LAI, WWM.; HIEAWY, A.; GAO, Y.; VON BERGMANN, H.; HAAPASALO, M.; TAY, F. R.; SHEN, Y. Micro-computed Tomographic Evaluation of the Quality of Root Canal Fillings in Mandibular Molars after Obturation for 54 Months. **J Endod**, v. 47, n. 11, p. 1783-1789, 2021.

LOPES-OLHÊ, F. C.; SOUSA-NETO, M. D.; DUARTE, M. A. H.; GAVINI, G.; BARATTO-FILHO, F.; ROPERTO, R.; CRUZ FILHO, A. M. D. Diagnóstico das Pulpopatias. In: SOUSA-NETO, MD.; DUARTE MAH.; GAVINI, G.; BARATTO-FILHO, F.; ESTRELA C. Endodontia: fundamentos científicos para a prática clínica. 1ªed. **Manole**, 2022.

MADANI, Z.; MOUDI, E.; BIJANI, A.; MAHMOUDI, E. Diagnostic Accuracy of Cone-Beam Computed Tomography and Periapical Radiography in Internal Root Resorption. **Iran Endod J**, v. 11, n. 1, p. 51-56, 2016.

MOINZADEH, A. T.; AZNAR PORTOLES, C.; SCHEMBRI WISMAYER, P.; CAMILLERI, J. Bioactivity Potential of EndoSequence BC RRM Putty. **J Endod**, v. 42, n. 4, p. 615-621, 2016.

MUELLER, A.; FUJIOKA-KOBAYASHI, M.; MUELLER, H. D.; LUSSI, A.; SCULEAN, A.; SCHMIDLIN, P. R.; MIRON, R. J. Effect of hyaluronic acid on morphological changes to dentin surfaces and subsequent effect on periodontal ligament cell survival, attachment, and spreading. **Clin Oral Investig**, v. 21, n. 4, p. 1013-1019, 2017.

NILSSON, E.; BONTE, E.; BAYET, F.; LASFARGUES, J. J. Management of internal root resorption on permanent teeth. **Int J Dent**, 929486, 2013.

ORDINOLA, R.; BRAMANTE, C. M.; DUARTE, M. A.; CAVENAGO, B. C.; JARAMILLO, D.; VERSIANI, M. A. Shaping ability of reciproc and TF adaptive systems in severely curved canals of rapid microCT-based prototyping molar replicas. **J Appl Oral Sci**, v. 22, n. 6, p. 509-515, 2014.

OTA-TSUZUKI, C.; MARTINS, F. L.; GIORGETTI, A. P.; DE FREITAS, P M.; DUARTE P. M. In vitro adhesion of Streptococcus sanguinis to dentine root surface after treatment with Er:YAG laser, ultrasonic system, or manual curette. **Photomed Laser Surg**, v. 27, n. 5, p. 735-741, 2009.

PARIROKH, M.; TORABINEJAD, M. Mineral trioxide aggregate: A comprehensive literature review—Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. **J. Endod**, v. 36, n. 3, p. 400-413, 2010.

PATEL, S.; BROWN, J.; SEMPER, M.; ABELLA, F.; MANNOCCI, F. European Society of Endodontology position statement: Use of cone beam computed tomography in Endodontics: European Society of Endodontology (ESE) developed by. **Int Endod J**, v. 52, n. 12, p. 1675-1678, 2019.

PATEL, S.; DAWOOD, A.; FORD, T. P.; WHAITES, E. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. **Int Endod J**, v. 40, n. 10, p. 813-830, 2007.

PATEL, S.; KANAGASINGAM, S.; PITT FORD, T. External cervical resorption: a review. **J Endod**, v. 35, n. 5, p. 616-625, 2009.

PATEL, S.; KRASTL, G.; WEIGER, R.; LAMBRECHTS, P.; TJÄDERHANE, L.; GAMBARINI, G.; TENG, PH. ESE position statement on root resorption. **Int Endod J**, v. 56, n. 7, p. 792-801, 2023.

PATEL, S.; RICUCCI, D.; DURAK, C.; TAY, F. Internal root resorption: a review. **J Endod**, v. 36, n. 7, p. 1107-1121, 2010.

PATEL, S.; SABERI, N. The ins and outs of root resorption. **Br Dent J**, v. 224, n. 9, p. 691-699, 2018.

PATEL, S.; SABERI, N.; PIMENTAL, T.; TENG, P. H. Present status and future directions: Root resorption. **Int Endod J**, v. 55, n. 4, p. 892-921, 2022.

PEREIRA DA COSTA, R.; QUARESMA, S. A.; LOPES, F. C.; CAMARGO, R.; DOMINGOS PIRES, M.; GINJEIRA, A.; SOUSA-NETO, M. D. Management of a perforating internal root resorption using mineral trioxide aggregate: a case report with 5-year follow-up. **Aust Endod J**, v. 46, n. 3, p. 452-457, 2020.

PÉREZ-ALFAYATE, R.; MERCADÉ, M.; VERA, J. Relationship between internal root resorption and dens in dente. **J Clin Exp Dent**, v. 12, n. 8, p. e800-e804, 2020.

PETERS, O.; SCOTT, R.; ARIAS, A.; LIM, E.; PAQUE, F.; ALMASSI, S.; HEJLAWY, S. Evaluation of Dental Students' Skills Acquisition in Endodontics Using a 3D Printed Tooth Model. **European endodontic journal**, v. 6, n. 3, p. 290-294, 2021.

RABINOWITCH, B. Z. Internal resorption. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol**, v. 33, n. 2, p. 263-282, 1972.

RALDI, D. P.; MELLO, I.; NEVES, A. C.; HABITANTE, S. M.; MIYAGI, S. S.; LAGEMARQUES, J. L. Attachment of cultured fibroblasts and ultrastructural analysis of simulated cervical resorptions treated with high-power lasers and MTA. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 109, n. 2, p. e154-e161, 2010.

REIS, T.; BARBOSA, C.; FRANCO, M.; BAPTISTA, C.; ALVES, N.; CASTELO-BAZ, P.; MARTIN-CRUCES, J.; MARTIN-BIEDMA, B. 3D-Printed Teeth in Endodontics: Why, How, Problems and Future-A Narrative Review. **Int J Environ Res Public Health**, v. 19, n. 13, p. 1-13, 2022.

REYMUS, M.; FOTIADOU, C.; KESSLER, A.; HECK, K.; HICKEL, R.; DIEGRITZ, C. 3D printed replicas for endodontic education. **Int Endod J**, v. 52, n. 1, p. 123-130, 2019.

REYMUS, M.; STAWARCZYK, B.; WINKLER, A.; LUDWIG, J.; KESS, S.; KRASTL, G.; KRUG, R. A critical evaluation of the material properties and clinical suitability of in-house printed and commercial tooth replicas for endodontic training. **Int Endod J**, v. 53, n. 10, p. 1446-1454, 2020.

SALAZAR-GAMARRA, R.; BINASCO, S.; SEELAUS, R.; DIB, L. L. Present and future of extraoral maxillofacial prosthodontics: Cancer rehabilitation. **Front Oral Health**, v. 3, 1003430, 2022a.

SALAZAR-GAMARRA, R.; CONTRERAS-PULACHE, H.; CRUZ-GONZALES, G.; BINASCO, S.; CRUZ-GONZALES, W.; MOYA-SALAZAR, J. Three-Dimensional Printing and Digital Flow in Human Medicine: A Review and State-of-the-Art. **Appl. Syst. Innov**, v. 5, n. 6, p. 126, 2022b.

SAMPAIO, R. F.; CARVALHO, C. N.; BRADASCHIA-CORREA, V.; GONÇALVES, B. L. L.; ARANA-CHAVEZ, V.; CARVALHO, A. P. L.; NOGUEIRA, A. P. A.; GRAZZIOTIN-SOARES, R.; BAUER, J.; GAVINI, G.; CARVALHO, E. M. Apical Sealing and Bioactivity of an Experimental Gutta-Percha Containing Niobium Phosphate Bioglass. **Polymers (Basel)**, v. 15, n. 7, p. 1679, 2023.

SANAEI-RAD, P.; BOLBOLIAN, M.; NOURI, F.; MOMENI, E. Management of internal root resorption in the maxillary central incisor with fractured root using Biodentine. **Clin Case Rep**, v. 9, n. 7, p. 1-5, 2021.

SCHEMBRI-WISMAYER, P.; CAMILLERI, J. Why Biphasic? Assessment of the Effect on Cell Proliferation and Expression. **J Endod**, v. 43, n. 5, p. 751-759, 2017.

SIEW, K.; LEE, A. H.; CHEUNG, G. S. Treatment Outcome of Repaired Root Perforation: A Systematic Review and Meta-analysis. **J Endod**, v. 41, n. 11, p. 1795-1804, 2015.

SILVA, E. J. N. L.; PINTO, K. P.; BELLADONNA, F. G.; FERREIRA, C. M. A.; VERSIANI, M. A.; DE-DEUS, G. Success rate of permanent teeth pulpotomy using bioactive materials: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. **Int Endod J**, 13939, 2023.

SILVEIRA, F. F.; NUNES, E.; SOARES, J. A.; FERREIRA, C. L.; ROTSTEIN, I. Double 'pink tooth' associated with extensive internal root resorption after orthodontic treatment: a case report. **Dent Traumatol**, v. 25, n. 3, p. e43-e47, 2009.

Special Committee to Revise the Joint AAE/AAOMR Position Statement on use of CBCT in Endodontics. AAE and AAOMR Joint Position Statement: Use of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics 2015 Update. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol**, v. 120, n. 4, p. 508-512, 2015.

STEPHANOPOULOS, G.; MIKROGEORGIS, G.; LYROUDIA, K. Assessment of simulated internal resorption cavities using digital and digital subtraction radiography: a comparative study. **Dent Traumatol**, v. 27, n. 5, p. 344-349, 2011.

TEK, V.; TÜRKER, S. A. A micro-computed tomography evaluation of voids using calcium silicate-based materials in teeth with simulated internal root resorption. **Restor Dent Endod**, v. 45, n. 1, e5, 2019.

TEZVERGIL-MUTLUAY, A.; SESEOGULLARI-DIRIHAN, R.; FEITOSA, V. P.; CAMA, G.; BRAUER, D. S.; SAURO, S. Effects of Composites Containing Bioactive Glasses on Demineralized Dentin. **J Dent Res**, v. 96, n. 9, p. 999-1005, 2017.

- TOIA, C. C.; TEIXEIRA, F. B.; CUCCO, C.; VALERA, M. C.; CAVALCANTI, B. N. Volumetric Evaluation of Voids and Gaps of Different Calcium-Silicate Based Materials Used in Furcal Perforations: A Micro-CT Study. **Dent J (Basel)**, v. 10, n. 3, 41, 2022.
- TOPÇUOĞLU, H. S.; DÜZGÜN, S.; CEYHANLI, K. T.; AKTI, A.; PALA, K.; KESIM, B. Efficacy of different irrigation techniques in the removal of calcium hydroxide from a simulated internal root resorption cavity. **Int Endod J**, v. 48, n. 4, p. 309-316, 2015.
- TORABINEJAD, M.; WATSON, T. F.; PITT FORD, T. R. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. **J Endod**, v. 19, n. 12, p. 591-595, 1993.
- TRONSTAD, L. Root resorption--etiology, terminology and clinical manifestations. **Endod Dent Traumatol**, v. 4, n. 6, p. 241-252, 1988.
- TROPE, M. Root resorption of dental and traumatic origin: classification based on etiology. **Pract Periodontics Aesthet Dent**, v. 10, n. 4, p. 515-522, 1998.
- VALLÉS, M.; ROIG, M.; DURAN-SINDREU, F.; MARTÍNEZ, S.; MERCADÉ, M. Color Stability of Teeth Restored with Biodentine: A 6-month In Vitro Study. **J Endod**, v. 41, n. 7, p. 1157-1160, 2015.
- VELLOSO, G. R.; DE FREITAS, M. M.; ALVES, A.; SILVA, A.; BARBOZA, E.; MORASCHINI, V. Multiple external cervical root resorptions after home whitening treatment: a case report. **Aust Dent J**, v. 62, n. 4, p. 528-533, 2017.
- WALTON, R. E.; LEONARD, L. A. Cracked tooth: an etiology for "idiopathic" internal resorption? **J Endod**, v. 12, n. 4, p. 167-169, 1986.
- WEDENBERG, C.; LINDSKOG, S. Evidence for a resorption inhibitor in dentin. **Scand J Dent Res**, v. 95, n. 3, p. 205-211, 1987.
- WIEMANN, A. H.; WILCOX, L. R. In vitro evaluation of four methods of sealer placement. **J Endod**, v. 17, n. 9, p. 444-447, 1991.
- YAZDI, K. A.; AMINSOBHANI, M.; ALEMI, P. Comparing the Ability of Different Materials and Techniques in Filling Artificial Internal Resorption Cavities. **Eur Endod J**, v. 4, n. 1, p. 21-27, 2018.
- ZARRA, T.; LAMBRIANIDIS, T.; VASILADIS, L.; GOGOS, C. Effect of curing conditions on physical and chemical properties of MTA. **Int Endod J**, v. 51, n. 11, p. 1279-1291, 2018.
- ZHANG, P.; YUAN, K.; JIN, Q.; ZHAO, F.; HUANG, Z. Presence of voids after three obturation techniques in band-shaped isthmuses: a micro-computed tomography study. **BMC Oral Health**, v. 21, n. 1, p. 1-8, 2021.

Anexo



ANEXO 1 - Documento de aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE RIBEIRÃO PRETO
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
Avenida do Café, s/nº - Telefone: (016) 3602-3963
14040-904 - Ribeirão Preto - SP - Brasil
Fax: (016) 3633-0999

OF.CEP/372/FORP

Ribeirão Preto, 18 de setembro de 2009.

Senhor Professor,

Ref.: Processo nº 2009.1.972.58.4
CAAE nº 0072.0.138.000-09

A pedido da Profa. Dra. Cláudia Helena Lovato da Silva, Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa, desta Faculdade, informamos que o referido Comitê em sua 102ª Sessão, realizada em 17 de setembro de 2009, **aprovou o Projeto de Pesquisa:** "Avaliação de diferentes técnicas de preparo biomecânico, obturação, retrobturação, preparo para contenção intraradicular de dentes submetidos a diferentes tratamentos, por meio de microtomografia computadorizada".

Na oportunidade, lembramos da necessidade de entregar na Secretaria do Comitê, com o formulário preenchido pelo pesquisador responsável, os **Relatórios Parciais** nos dias **30 de julho de 2010 e 30 de maio de 2011** e o **Relatório Final** no dia **30 de março de 2012**.

Atenciosamente,


Glauce Della Rosa

Secretária do Comitê de Ética em Pesquisa

Recebi Original
18/9/09


Ilmo. Sr.
Prof. Dr. MANOEL DAMIÃO DE SOUSA NETO
Professor Associado do Departamento de Odontologia Restauradora – FORP/USP

Secretária do Comitê de Ética em Pesquisa - Glauce Della Rosa - e-mail: glauce@forp.usp.br

ANEXO 2 - Tabela 1- Descritiva dos parâmetros para aquisição das imagens inicial e pós-obturação em microCT.

	Aquisição inicial microCT SkyScan 1174	Imagens pós-obturaç�o microCT SkyScan 1272
Corrente	800µA	100µA
Voltagem	50kVp	100kVp
Voxel isotr�pico	26,97µm	21µm
Tempo de exposi�o	53min	44min
Filtro	Al 0,5mm	CuAl 0,5/10,038mm
Passo de rota�o	0,7�	0,7�
Rota�o	360�	360�
Proje�oes bidimensionais	514	514

ANEXO 3 - Tabela 2- Descritiva dos parâmetros para reconstrução das imagens inicial e pós-obturação em microCT.

	Reconstrução inicial microCT SkyScan 1174	Imagens pós-obturação microCT SkyScan 1272
Redução de artefatos em forma de anel (<i>Ring Artifact</i>)	4 (0-10)	4 (0-10)
Endurecimento de feixe (<i>Beam Hardening</i>)	40% (0-100)	0% (0-100)
Suavização (<i>Smoothing</i>)	4 (0-10)	4 (0-10)
Escala de contraste de histograma	0,022 - 0,12	0,003 a 0,17