

**UNIVERSIDADE DO GRANDE RIO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE QUATRO DIFERENTES TÉCNICAS
DE INSERÇÃO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO**

THAÍS MARTINS DE SOUZA

2022

I

UNIVERSIDADE DO GRANDE RIO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE QUATRO DIFERENTES TÉCNICAS DE
INSERÇÃO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO

THAÍS MARTINS DE SOUZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade do Grande Rio (UNIGRANRIO), como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Odontologia (Área de Concentração: Endodontia).

Orientadora:
Profa. Dra. Sabrina de Castro Brasil

Orientador:
Prof. Dr. José Freitas Siqueira Junior

2022

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE QUATRO DIFERENTES TÉCNICAS DE INSERÇÃO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO

THAÍS MARTINS DE SOUZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, da Universidade do Grande Rio (UNIGRANRIO), como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre) em Odontologia (Área de Concentração: Endodontia).

Aprovada em de de 2022

Banca examinadora

Profa. Dra. Renata Perez Vianna Silva
Universidade do Grande Rio – professora colaboradora do PPGO

Prof. Dra. Maria Kaline Romeiro Teodoro
Unifacol

DEDICATÓRIA

A minha avó Aurea, minha mãe Cristiani e meu pai Regivaldo (*in memoriam*) que sempre bradaram a importância da educação e sua capacidade de modificar as pessoas e transformar o mundo.

Ao meu filho Pedro Henrique e meu esposo Carlos Henrique por me apoiarem, incentivarem, acreditarem e confiarem em mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me permitir traçar e cumprir esta jornada, por me dar força para superar as dificuldades, por acalmar meu coração e restabelecer sempre a minha fé.

A minha avó Aurea, exemplo de determinação e ética. Obrigada por todo o legado de amor que construiu e por me permitir crescer em uma família batalhadora e com tantos princípios.

A minha mãe Cristiani, sem dúvida minha maior incentivadora, aquela que sonha meus sonhos, me segura nas quedas, me impulsiona a continuar e que me ensinou a importância do esforço para alcançar nossas metas. Você e meu pai permitiram que o amor ao ofício da docência, que sempre transbordou de seus olhares, contagiasse meu coração.

Ao meu esposo, Carlos Henrique, pelo amor, incentivo e paciência, por não medir esforços para me motivar e por sempre acreditar no meu potencial. Ao meu filho Pedro Henrique que, mesmo tão novo, compreendeu os períodos de ausência e da maneira mais pura mostrou seu orgulho por mim. Você tira de mim uma força que nem eu mesmo sei que existe. Vocês são parte fundamental desta trajetória.

Ao meu irmão Danniell, uma inteligência sem medidas, que acredita na educação e que enxerga as soluções dos problemas com tamanha facilidade e lógica. Como suas habilidades inspiraram minha caminhada!

A toda minha família, parte inseparável da minha essência. Aos meus tios amados, pelo exemplo de profissionais que são, sempre caminhando com ética e temor a Deus. Aos meus primos e sobrinhos que tanto me fazem feliz. A minha sogra e cunhadas por me impulsionarem, torcerem e acreditarem em minha capacidade.

A minha orientadora, Prof.^a Dra. Sabrina de Castro Brasil. Não tenho palavras para descrever tamanha gratidão. Obrigada pela parceria, por toda sua dedicação,

pela confiança depositada em mim e por sua incrível competência, não deixando de lado sua disponibilidade, garra e seu enorme bom humor. Que orgulho ter você como minha “musa endodôntica” desde a especialização. Estendo esse agradecimento a Luciano e Rafael, seu esposo e seu filho, que fizeram parte dessa caminhada conosco, me acolhendo tantas vezes em suas rotinas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Freitas Siqueira Junior, por compartilhar seus conhecimentos com tanta excelência, por toda obra construída e por sua incansável dedicação, engrandecendo a comunidade científica endodôntica. Obrigada por me desafiar a ser uma profissional melhor a cada dia e por me conduzir meio às adversidades enfrentadas. É uma honra enorme ter sido orientada pelo senhor.

Ao meu professor, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Odontologia (PPGO), Dr. Flávio Rodrigues Ferreiras Alves, pelo ensino da Endodontia com tanta destreza e sabedoria desde minha especialização, por ter vislumbrado esse potencial em mim e pelo incentivo a seguir no caminho da docência.

À Prof.^a Dra. Renata Perez, um encontro feliz nessa trajetória, uma pessoa com um enorme conhecimento, que me ensinou mais do que eu imaginaria aprender. Quanta disponibilidade! Quanta paciência! Que parceria incrível você me proporcionou.

A todos os demais docentes do PPGO, que fizeram parte de minha trajetória: Prof.^a Dra. Isabella Rôças, Prof. Dr. Fabiano Heggendorn, Prof. Dr. Victor Talarico, Prof. Dr. Rodrigo Pereira, Prof. Dr. Plínio Senna, Prof. Dr. Emanuel Silva, Prof.^a Dra. Sara Piperni, Prof.^a Dra. Claudia. Agradeço o conhecimento compartilhado, as experiências trocadas e todo apoio.

Aos Comandos da Base de Hidrografia da Marinha em Niterói (gestões 2019-2020 e 2021-2022), Organização Militar na qual sirvo, que autorizaram meu aperfeiçoamento e acreditaram em minha capacidade de gerenciar as funções

militares e o mestrado civil. Em especial ao Capitão de Mar e Guerra Paulo EDUARDO ALMEIDA e ao Capitão de Corveta (AA) Francisco SOLANO Barbosa Câmara, pessoas essenciais em todo esse processo, por ajudarem na viabilização desse sonho. Minha eterna gratidão aos senhores.

A todos da minha querida Divisão de Saúde da BHMN, pela contribuição para que nada “pegasse” quando eu precisava me ausentar e que foram fundamentais para que eu conseguisse conciliar minha jornada de trabalho aos estudos.

Aos meus queridos amigos e colegas do PPGO, pela amizade e convívio, momentos que vão deixar saudade. Em especial, a meus companheiros de caminhada, Alessandra Baasch, Isabela Guedes, Karen Brisson, Luis Felipe Jimenez, Patrícia Vianna, Natasha Ajuz e Victor Octávio, por transformarem essa turma em família, pelas conversas e risadas, pelos sofrimentos e desesperos, por suportarem as adversidades, torcerem por cada conquista e se fazerem sempre presentes.

À Amanda Assumpção Marques, pela parceria, por todo o auxílio no desenvolvimento do meu trabalho e pelo apoio nos recomeços, quando os problemas surgiam.

A todas as demais pessoas que contribuíram de forma direta e indireta para realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

“As ciências têm as raízes amargas, porém os frutos são
doces.”

Aristóteles

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA	01
2. JUSTIFICATIVA	23
3. OBJETIVOS	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	25
5. RESULTADOS	45
6. DISCUSSÃO	49
7. CONCLUSÕES.....	54
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

RESUMO

Objetivo. O objetivo do presente trabalho *in vitro* foi comparar quatro técnicas de inserção de medicação intracanal à base de hidróxido de cálcio quanto ao preenchimento tridimensional de canais radiculares. **Materiais e Métodos.** Sessenta e quatro pré-molares mandibulares foram pareados por microtomografia computadorizada (μ CT) e instrumentados com Reciproc 40. Os dentes foram divididos em quatro grupos de acordo com o método de inserção da pasta UltraCal[®] XS: PUI (manual + ativação ultrassônica), EA (manual + EndoActivator), LEN (espiral de Lentulo #35), e UL (agulha + seringa carreadora próprios do kit UltraCal[®]). O preenchimento tridimensional foi analisado por μ CT, comparando as imagens obtidas antes e após a inserção da pasta. As áreas não tocadas nas paredes dos canais (*gaps*) e o volume dos espaços vazios no interior do canal não preenchidos pela medicação (*voids*) foram mensurados no segmento de 10 mm (comprimento total de análise) e a 4 mm do ápice radicular (zona crítica apical). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste *Shapiro-Wilk*. O teste de *Kruskall-Wallis* foi utilizado para a comparação entre os grupos. **Resultados.** Não houve diferença significativa entre os grupos para todas as variáveis testadas ($p > 0.05$). **Conclusões.** As técnicas de inserção avaliadas não influenciaram a qualidade do preenchimento, sendo todas elas consideradas adequadas para esta finalidade, uma vez que apresentaram mínimas falhas.

Palavras-chave: EndoActivator; espiral Lentulo; hidróxido de cálcio; medicação intracanal; UltraCal XS; ultrassom.

ABSTRACT

Aim. To compare four calcium hydroxide-based intracanal medication insertion techniques for three-dimensional filling of root canals. **Materials and methods.** Sixty-four mandibular premolars were paired by microcomputed tomography (μ CT) and instrumented with Reciproc 40. The sample was divided into four groups according to the UltraCal® XS paste insertion method: PUI (manual + ultrasonic activation), AE (manual + Endoactivator), LEN (lentulo spiral #35), and UL (needle + carrier syringe included in the UltraCal® kit). The three-dimensional filling was analyzed by μ CT, comparing the images obtained before and after the insertion of the paste. The untouched areas on the canal walls (gaps) and the volume of voids inside the canal not filled by the medication (voids) were measured in the 10 mm segment (total length of analysis) and 4 mm from the root apex (apical critical zone). Data normality was verified by the Shapiro-Wilk test. The Kruskal-Wallis test was used to compare the groups. **Results.** There was no significant difference between groups for all variables tested ($p > 0.05$). **Conclusions.** The insertion techniques evaluated did not influence the quality of the filling, being considered adequate for this purpose, since they had minimal failures.

Keywords: calcium hydroxide; EndoActivator; intracanal medications; Lentulo spirals; UltraCal® XS; ultrasound.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Sequência de aquisição, reconstrução, segmentação e análises morfológicas através de microtomografia	27
Figura 2.	Amostra selecionada, pareada e dividida em grupos. A: Divisão dos grupos. B: Caixa organizadora com a amostra separada em frascos coloridos e identificados com números arábicos e cores	29
Figura 3.	Determinando o comprimento de trabalho. A – Introduzindo o instrumento e analisando-o ultrapassar o forame pelo microscópio. B – Medindo o comprimento do dente	32
Figura 4.	Fluxograma de acesso e preparo químico-mecânico da amostra.....	33
Figura 5.	Padronizando o comprimento de análise total, da zona crítica apical e dos terços médio e cervical no <i>ImageJ</i>	35
Figura 6.	Fluxograma da técnica de inserção de Ca(OH)_2 por grupo.....	36
Figura 7.	Análise qualitativa radiográfica do preenchimento pela MIC. A – Preenchimento satisfatório. B – Identificação de bolha no preenchimento, com necessidade de repetir a técnica de inserção e tomar uma nova radiografia	39

Figura 8.	Calculando o volume do canal preparado, da pasta de Ca(OH)_2 e dos <i>voids</i>	42
Figura 9.	Determinando a área do canal não tocada pela MIC	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Estudos anteriores comparando técnicas de inserção de pastas de Ca(OH) ₂	16
Tabela 2.	Resultado do preenchimento dos canais pela pasta de Ca(OH) ₂ , relacionando o volume inicial do canal e o volume da MIC inserida.....	46
Tabela 3.	Resultado percentual dos <i>voids</i> , espaços do canal radicular não preenchidos pela pasta de Ca(OH) ₂	47
Tabela 4.	Resultado percentual dos <i>gaps</i> , lacunas de interface existentes entre parede dentinária e pasta de Ca(OH) ₂	48

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
CA	Comprimento de Análise
Ca(OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
CD	Comprimento do dente
CHX	Clorexidina
CP	Comprimento de patência
CT	Comprimento de Trabalho
CTAn	<i>Software Analyzer</i>
CTVol	<i>Software Volumer</i>
EA	<i>EndoActivator</i>
EDTA	Ácido etilenodiaminotetracético
JCE	Junção cimento-esmalte
kV	Kilovoltagem
LEN	Lentulo
MIC	Medicação/ medicamento intracanal
mm	Milímetro (s)
NaOCl	Hipoclorito de sódio
PMCC	Paramonoclorofenol Canforado
PQM	Preparo químico-mecânico
PUI	Irrigação Passiva Ultrassônica
REC	Reciproc [®]
R40	Reciproc [®] 40/ 0.6
SCR	Sistema de canais radiculares

UL	UltraCal [®] XS
μCT	Microtomografía computadorizada

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

As patologias pulpares e perirradiculares são regidas, principalmente, pela ação dos microrganismos e seus subprodutos, tanto em sua iniciação quanto em sua propagação e perpetuação (SUNDQVIST, 1976). Ainda que fatores químicos e físicos possam causar alterações inflamatórias no sistema de canais radiculares (SCR) e nos tecidos perirradiculares, são os microrganismos que desempenham o papel crítico nessas patogêneses. Assim, a terapia endodôntica deve ser considerada a conduta de escolha para essas doenças (SIQUEIRA, 2001), obtida, normalmente, por instrumentação mecânica com o auxílio de soluções irrigadoras, complementada por medicações intracanaís e finalizada pela obturação tridimensional. O objetivo do tratamento endodôntico é controlar adequadamente a infecção intracanal, resultando em condições clínicas normais e tecidos perirradiculares saudáveis, após um período adequado de acompanhamento (NEVES *et al.*, 2020).

1.1 INFECÇÕES ENDODÔNTICAS

1.1.1 Perfil Microbiológico

Na literatura, MILLER (1894) foi o primeiro autor a relatar o papel dos microrganismos nas patologias pulpares e perirradiculares. A presença de bactérias associadas aos canais radiculares infectados foi demonstrada através de material coletado em dentes extraídos. Contudo, a relação causal existente entre microrganismos e as doenças perirradiculares não foi determinada (SIQUEIRA, 2002). Décadas mais tarde, em um estudo clássico da literatura endodôntica, KAKEHASHI *et al.* (1965) expuseram polpas dentais de ratos convencionais e ratos *germ-free* ao meio bucal mecanicamente, e observaram que nos animais convencionais ocorreu

inflamação severa e necrose pulpar associadas a lesões perirradiculares, enquanto naqueles *germ-free*, houve reparo do tecido pulpar com neoformação de dentina. Esse e outros estudos dos últimos 60 anos (MÖLLER & MÖLLER, 1966; SUNDQVIST, 1976; RICUCCI & SIQUEIRA, 2010) acumularam evidências sobre a causa microbiana das patologias do SCR.

Teoricamente, todas as bactérias presentes na cavidade oral podem participar de infecções endodônticas se invadirem o SCR; no entanto, as interações entre os microrganismos e as pressões de oxigênio dentro do canal radicular acabam selecionando um grupo restrito de espécies. Os microrganismos predominantes são os anaeróbios obrigatórios, principalmente bacilos Gram-negativos; no entanto, muitos anaeróbios facultativos também podem ser isolados de canais radiculares infectados (SUNDQVIST, 1994), totalizando mais de 400 espécies bacterianas diferentes (SIQUEIRA *et al.*, 2011).

Tradicionalmente, a cultura microbiológica vem sendo utilizada para investigar a microbiota endodôntica e, assim, foi possível estabelecer um conjunto de espécies atuantes na patogênese perirradicular. Entretanto, a identificação microbiológica passou por uma evolução tecnológica significativa na década de 1990, com o avanço de métodos de microbiologia molecular, o que não só confirmou as descobertas feitas pela cultura, mas também a suplementou significativamente. A microbiota endodôntica foi, então, refinada e redefinida (SIQUEIRA & RÔÇAS, 2014). Estudos empregando métodos de cultura e moleculares (associando-os, inclusive) revelam que os gêneros de bactérias anaeróbias estritas mais prevalentes em canais infectados são: *Treponema*, *Fusobacterium*, *Prevotella*, *Porphyromonas*, *Peptostreptococcus*, *Eubacterium* e *Actinomyces* (SUNDQVIST *et al.*, 1998; RÔÇAS *et al.*, 2001; SIQUEIRA, 2001; SIQUEIRA & RÔÇAS, 2014). Outros estudos (MOLANDER *et al.*, 1998; RÔÇAS *et al.*, 2001; ADIB *et al.*, 2004; SIQUEIRA & RÔÇAS, 2014)

demonstram que algumas espécies anaeróbias facultativas também podem ser encontradas com certa frequência em canais radiculares, associadas a infecções persistentes ou secundárias, podendo comprometer o sucesso da terapia endodôntica. Dentre elas, destacam-se o gênero *Streptococcus* e a espécie *Enterococcus faecalis*.

As infecções endodônticas são causadas por biofilmes bacterianos intrarradiculares (RICUCCI & SIQUEIRA, 2010). Determinada a infecção intracanal, sua propagação para túbulos dentinários e outras ramificações do SCR poderá ocorrer (SIQUEIRA *et al.*, 2011), além de atingir e colonizar a zona crítica radicular (3 mm apicais), estabelecendo contato íntimo com os tecidos perirradiculares através dos forames apicais e foraminas acessórias, e necessitando, portanto, de atenção especial para que se alcance o sucesso da terapia endodôntica (SIQUEIRA *et al.*, 2004).

1.1.2 Terapia Endodôntica

O tratamento endodôntico é essencialmente direcionado para o controle e/ou prevenção das infecções pulpares e perirradiculares. Sendo seus agentes etiológicos primários, bactérias e seus subprodutos devem ser eliminados ou controlados durante a terapia para que se alcance o sucesso (SIQUEIRA & LOPES, 1999).

Nos casos de polpas vitais inflamadas, o tratamento deverá ser profilático, buscando a prevenção de novas infecções no SCR e tecidos perirradiculares, já que o canal radicular encontra-se livre de microrganismos. Inclusive, o tratamento deverá ser realizado em seção única, sempre que possível. Já nos casos de polpas necrosadas ou de periodontites apicais pós-tratamento, uma infecção intrarradicular já se encontra estabelecida, necessitando, portanto, não só prevenir a invasão de novos microrganismos, mas principalmente eliminar aqueles presentes. Para esses

casos, o canal radicular deverá ser limpo e moldado, mas deve-se pensar na adoção de um medicamento intracanal, para, só numa segunda visita, obturá-los (SIQUEIRA, 2001).

São, portanto, três as principais etapas para o controle da infecção durante o tratamento: o preparo químico-mecânico (PQM), a medicação intracanal (MIC) e a obturação tridimensional do SCR (SIQUEIRA, 2001).

A maioria das bactérias infectantes, seus substratos e restos de polpa necrótica podem ser facilmente removidos por procedimentos químico-mecânicos endodônticos, através de instrumentação mecânica e irrigação do SCR com soluções químicas (GOMES *et al.*, 2002; SAKAMOTO *et al.*, 2007). As soluções irrigadoras auxiliares devem ser dotadas de atividade antibacteriana, aumentando sua eficácia no controle da infecção (SIQUEIRA *et al.*, 2011). No entanto, a eliminação de bactérias pode não ser uma tarefa de fácil realização, e muitas delas podem sobreviver no interior do SCR, em espaços intocados, mesmo após cuidadoso PQM (BYSTRÖM & SUNDQVIST, 1981; GOMES *et al.*, 2006; ALVES *et al.*, 2011). SIQUEIRA (2001) relatou a existência de evidências científicas indicando que microrganismos podem sobreviver aos efeitos do PQM em cerca de metade dos casos. Muitas dessas bactérias acabam morrendo pelo sepultamento pós obturação, por ficarem desprovidas de nutrientes. Mas, se a obturação do canal radicular falhar e não promover uma vedação tridimensional, a infiltração de fluidos teciduais no canal pode servir como substrato para o crescimento bacteriano. Se as bactérias em crescimento se multiplicarem e atingirem um número significativo, podem perpetuar a inflamação e disseminar-se para túbulos dentinários, ramificações apicais, canais laterais e istmos (KONTAKIOTIS *et al.*, 1995; SIQUEIRA & RÔÇAS, 2008). Uma vez nessas localidades anatômicas inacessíveis ao PQM, podem propagar a doença, representando um potencial ao fracasso. Assim, medidas adicionais que envolvam o

controle da infecção nessas áreas devem ser empregadas durante a terapia, como a MIC (SIQUEIRA *et al.*, 2011), que se torna, nesse tocante, um complemento valioso ao PQM, reduzindo a microbiota endodôntica, e favorecendo, assim, o reparo dos tecidos perirradiculares (SIQUEIRA & UZEDA, 1997).

1.2 MEDICAÇÃO INTRACANAL

Na Endodontia, a principal função da MIC é eliminar ou reduzir ao máximo os microrganismos que resistiram ao PQM. Esses medicamentos buscam neutralizar os conteúdos restantes do canal e inativar produtos microbianos, dissolver tecidos, atuar como uma barreira física e controlar a infiltração apical persistente de fluidos para o SCR (DAVIS *et al.*, 2007), além de reduzir a inflamação perirradicular e sua sintomatologia, controlar a reabsorção dentária inflamatória externa e estimular a reparação por tecido mineralizado (SILVEIRA *et al.*, 2007). Uma vez que as MIC permanecem por períodos mais longos no interior do canal radicular quando comparadas às substâncias químicas auxiliares, elas podem alcançar bactérias localizadas em regiões inacessíveis a instrumentos e soluções irrigadoras no SCR (SIQUEIRA & UZEDA, 1998; SIQUEIRA, 2001).

A complexidade anatômica do SCR, aliada à organização da microbiota endodôntica em biofilmes, culmina numa improvável região livre de microrganismos, independente das técnicas escolhidas para limpeza, modelagem e obturação. A associação do PQM com MIC proporciona uma maior eliminação dos microrganismos, elevando os índices de sucesso da terapia endodôntica (SOARES *et al.*, 2005; SIQUEIRA & RÔÇAS, 2007). Nos casos de necrose pulpar, MIC é um recurso complementar valioso de desinfecção do SCR, que promove a redução da carga

microbiana endodôntica, favorecendo, assim, o reparo dos tecidos perirradiculares (SILVEIRA *et al.*, 2007).

As propriedades ideais para a escolha de um MIC durante o tratamento endodôntico convencional são documentadas há algum tempo (MARTIN, 1979); no entanto, o MIC perfeito ainda não foi encontrado. Nessa busca, diversos tipos de medicamentos têm sido estudados e utilizados, se destacando o paramonoclorofenol canforado (PMCC) (BARBOSA *et al.*, 1997; SIQUEIRA *et al.*, 1997a-b), associações entre antibióticos e corticoides (DE FREITAS *et al.*, 2017), tricresol formalina (VALERA *et al.*, 2001), formocresol (LAW & MESSER, 2004), hidróxido de cálcio (SIQUEIRA & LOPES, 1999; RÔÇAS & SIQUEIRA, 2011; BEDRAN *et al.*, 2020) e clorexidina (SIGNORETTI *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2012; ZANCAN *et al.*, 2016; REIS *et al.*, 2018).

As medicações à base de Ca(OH)_2 despontam como primeira escolha de MIC na endodontia, sendo reconhecidas por sua eficácia antimicrobiana durante a terapia endodôntica (ORSTAVIK *et al.*, 1991; SIQUEIRA & LOPES, 1999).

1.2.1 Hidróxido de Cálcio

O hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) tem sido amplamente utilizado na prática endodôntica como medicação intracanal (SIQUEIRA & UZEDA, 1998). Segundo FAVA & SAUNDERS (1999), sua referência inicial de uso foi atribuída a Nygren (1838) para tratamento de 'fístula dentária', enquanto Codman (1851) foi o primeiro a tentar preservar a polpa dentária envolvida. No entanto, o hidróxido de cálcio tornou-se mais conhecido a partir da década de 1920 por meio de trabalhos de um cirurgião dentista alemão, Herman. Desde então e, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, suas indicações clínicas foram ampliadas e hoje, o hidróxido de cálcio é considerado uma excelente opção terapêutica, sendo a MIC mais comumente utilizada (ESTRELA

& HOLLAND, 2003) e um dos curativos mais eficazes durante a terapia endodôntica (SIQUEIRA & LOPES, 1999).

Hidróxido de cálcio é uma substância alcalina forte, com pH 12,5, em média, e peso molecular 74,08, obtida pela hidratação do óxido de cálcio que provém da calcinação do carbonato de cálcio. É um pó branco, inodoro, com fórmula Ca(OH)_2 , ligeiramente solúvel em água e que se dissocia em íons cálcio e hidroxila em contato com fluidos aquosos, o que determina suas principais ações (ESTRELA *et al.*, 2005; FARHAD & MOHAMMADI, 2005).

Algumas propriedades biológicas têm sido atribuídas ao Ca(OH)_2 , como atividade antimicrobiana (BYSTRÖM *et al.*, 1985; SIQUEIRA & LOPES, 1999; MOHAMMEDI *et al.*, 2012), inibição da reabsorção dentária (TRONSTAD, 1988), indução de reparo por formação de tecido duro (FOREMAN & BARNES, 1990) e capacidade de dissolução tecidual (HASSELGREN *et al.*, 1988; METZLER & MONTGOMERY, 1989). Concentrarei atenção na atividade antimicrobiana do hidróxido de cálcio.

1.2.1.1 Atividade antimicrobiana do Ca(OH)_2 : mecanismos

A atividade antimicrobiana do Ca(OH)_2 tem relação com a liberação de íons hidroxila em um ambiente aquoso (SIQUEIRA & LOPES, 1999) e depende da difusão desses íons em altas concentrações para atingir níveis adequados de pH (SIQUEIRA *et al.*, 2007-a). Tais íons são radicais livres extremamente oxidantes com reatividade alta e indiscriminada, que reagem com diversas biomoléculas. Isso faz com que logo sejam consumidos, não se difundindo para locais distantes de onde são gerados, necessitando de contato direto com os microrganismos para exercerem sua ação (KONTAKIOTIS *et al.*, 1995). Seus efeitos letais sobre as células bacterianas se dão, provavelmente, por três mecanismos: danos ou à membrana citoplasmática

bacteriana ou ao DNA, ou ainda por desnaturação proteica ou inativação enzimática (SIQUEIRA & LOPES, 1999).

Os íons hidroxila liberados pela dissociação do Ca(OH)_2 podem induzir à peroxidação lipídica, que causa destruição de fosfolipídios, componentes estruturais da membrana celular, através de uma cadeia autocatalítica, resultando em danos à membrana (HALLIWELL, 1987). Como a membrana citoplasmática participa da formação da parede celular, biossíntese de lipídios, transporte de elétrons e fosforilação oxidativa, esses danos prejudicam funções essenciais como metabolismo, divisão celular e crescimento das células atingidas (ESTRELA & HOLLAND, 2003).

Por outro lado, os íons hidroxila também podem reagir com o DNA bacteriano, desenrolando seus filamentos, fazendo com que seus genes se percam (IMLAY & LINN, 1988), inibindo, assim, a replicação do DNA, desordenando a atividade celular ou induzindo a mutações letais (SIQUEIRA & LOPES, 1999).

Por último, a alcalinização fornecida pelo Ca(OH)_2 pode induzir à quebra de ligações iônicas que mantêm a estrutura terciária das proteínas, uma vez que suas atividades ótimas ocorrem em faixa neutra de pH (PADAN *et al.*, 1981). Como consequência, a cadeia polipeptídica das enzimas é exposta aleatoriamente em conformação espacial variável e irregular, e essas mudanças acabam por resultar em perda de sua atividade biológica e interrupção do metabolismo celular.

Para SIQUEIRA & LOPES (1999), há evidências científicas de que os três mecanismos possam ocorrer; no entanto, é difícil estabelecer qual deles é o principal envolvido (e sua ordem cronológica) na ação antibacteriana pós exposição a essa base forte. Seus efeitos esperados são observados quando a substância entra em contato direto com as bactérias, já que os valores de pH encontram-se altos; mas, clinicamente, isso nem sempre será possível.

1.2.1.2 Atividade antimicrobiana do Ca(OH)₂: Desinfecção do SCR e suas limitações

Estudos demonstraram que o efeito letal do hidróxido de cálcio nas células bacterianas ocorre por contato direto (BYSTRÖM *et al.*, 1985; GEORGOPOULOU *et al.*, 1993). A alta concentração de íons hidroxila é incompatível com a vida bacteriana, desde que os valores de pH sejam mantidos bastante elevados. Portanto, a destruição de bactérias pelo hidróxido de cálcio é dependente da disponibilidade de íons hidroxila na solução, que é mais alto no local onde a pasta de Ca(OH)₂ é aplicada (SIQUEIRA & LOPES, 1999). Quando bem inserida, preenchendo toda a extensão do conduto radicular, a ação antimicrobiana se torna esperada (ESTRELA *et al.*, 2002).

No entanto, algumas bactérias podem abrigar-se no interior de túbulos dentinários, constituindo-se como um importante reservatório a partir do qual a infecção do canal radicular (ou reinfecção) pode persistir, mesmo após o tratamento endodôntico, e, ocasionalmente, gerar fracasso na terapia. As bactérias localizadas dentro dos túbulos dentinários têm a capacidade de se protegerem dos efeitos de células e moléculas de defesa do hospedeiro, de antibióticos sistêmicos e do PQM (SIQUEIRA, 2001) e podem comprometer o resultado do tratamento endodôntico (VIEIRA *et al.*, 2012). O arranjo das células bacterianas que colonizam as paredes do canal radicular pode atrapalhar os efeitos antibacterianos do hidróxido de cálcio. Microrganismos localizados na periferia das colônias podem proteger aqueles localizados mais profundamente no interior dos túbulos.

Nesse contexto de infecção intratubular, o Ca(OH)₂ acaba não sendo igualmente eficaz contra todos os microrganismos no SCR (SIQUEIRA & LOPES, 1999). Diversos estudos relataram que o Ca(OH)₂ não é eficaz contra *Enterococcus faecalis*, uma bactéria que resiste à ação de uma ampla variedade de agentes

microbianos devido a seus vários mecanismos de defesa, e é frequentemente isolada nos dentes que sofrem falha no tratamento endodôntico (EVANS *et al.*, 2002; PORTENIER *et al.*, 2003, KAYAOGLU *et al.*, 2009). SIQUEIRA & UZEDA (1996) demonstraram que o hidróxido de cálcio associado à solução salina não foi eficaz na eliminação de *E. faecalis* e *Fusobacterium nucleatum* dentro dos túbulos dentinários mesmo após sete dias de contato, resultados corroborados por ESTRELA *et al.* (1999) que atestaram essa mesma ineficácia na desinfecção contra *E. faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa* ou com uma mistura destas bactérias. Outro estudo (SAFAVI *et al.*, 1990) demonstrou que células de *Enterococcus faecium* permaneceram viáveis no interior de túbulos dentinários mesmo após tratamento por longos períodos com uma pasta de hidróxido de cálcio e solução salina. Esses estudos afirmam que a pasta de hidróxido de cálcio com veículo inerte é ineficaz na desinfecção da dentina.

Para alcançar a complexidade do SCR e atuar efetivamente como MIC, os íons hidroxila devem ser capazes de difundir-se através da dentina e de restos de tecido pulpar e manter o pH em níveis elevados, exercendo uma drástica seletividade desses microrganismos (GOMES *et al.*, 2002). Apenas aqueles com mecanismos adaptativos seriam capazes de se manterem vivos e proliferarem, ajudando a manter o pH interno praticamente constante por ativação de bombas de prótons, sistemas enzimáticos específicos, dispositivos *buffer* ou através de produtos bacterianos que neutralizem o pH ambiental (PADAN *et al.*, 1981). No entanto, alguns estudos (NERWICH *et al.*, 1993; HAAPASALO *et al.*, 2000; LIN *et al.*, 2005) demonstram que o nível de pH vai diminuindo no interior dos túbulos dentinários, à medida que se distancia do canal principal onde a pasta de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ está acumulada. Essa concentração pode ser diminuída por ação de sistemas de tamponamento (bicarbonato e fosfato), ácidos,

proteínas e dióxido de carbono, e seu efeito antibacteriano reduzido ou mesmo impedido (SIQUEIRA & UZEDA, 1998).

Além da concentração, o fator tempo também deve ser considerado. Para que o efeito antibacteriano seja percebido nos túbulos dentinários, a difusão iônica de hidróxido de cálcio deve exceder a capacidade tampão da dentina, e atingir níveis de pH elevados para destruir bactérias, demandando um tempo que ainda permanece desconhecido. Os estudos que demonstraram, inicialmente, a eficácia do hidróxido de cálcio em promover desinfecção do SCR apresentaram canais radiculares preenchidos por, pelo menos, um mês (BYSTRÖM *et al.*, 1985). ORSTAVIK & HAAPASALO (1990) observaram que o hidróxido de cálcio pode levar até dez dias para desinfetar túbulos dentinários infectados por microrganismos facultativos. Para SJOGREN *et al.* (1991), é necessário um tempo mínimo de sete dias de contato do Ca(OH)_2 para que microrganismos que sobreviveram ao PQM sejam eliminados, assim como para GOODIS (1998) que observou mais casos de sucesso quando, após o PQM, utilizou-se o Ca(OH)_2 , como MIC, por períodos que variaram de sete a dez dias, principalmente se comparados a tratamentos realizados em sessão única. LEONARDO *et al.* (2002) observaram que, para dentes com periodontite apical crônica, MIC à base de hidróxido de cálcio deve permanecer por pelo menos quatorze dias no interior do SCR. Sendo assim, o tempo ideal para que o hidróxido de cálcio exerça sua ação antimicrobiana de forma eficaz ainda não foi determinado (BASRANI *et al.* 2003, NEELAKANTAN *et al.* 2007, LANA *et al.* 2009); mas sabe-se que, somente após um período de contato do hidróxido de cálcio (e não de maneira instantânea), os microrganismos serão provavelmente expostos a níveis letais de íons hidroxila (VIANNA *et al.*, 2009).

Um curativo de curto prazo com Ca(OH)_2 parece eliminar as células bacterianas, principalmente quando em contato direto com elas. Mas sua capacidade

de se dissolver e se difundir no SCR e o fator tempo também parecem ser essenciais para seu êxito.

1.2.1.3 Atividade antimicrobiana do Ca(OH)_2 : influência dos veículos utilizados

Sabendo que a MIC pode ser considerada um valioso complemento para a desinfecção do SCR, alcançando bactérias localizadas em regiões inacessíveis ao PQM, e sendo o hidróxido de cálcio a medicação mais amplamente utilizada para essa função, devido a disponibilidade de seus íons hidroxila em solução (SIQUEIRA & UZEDA, 1998), diversas substâncias têm sido utilizadas como veículos. Por se apresentar em forma de pó, é necessário que um veículo seja associado para proporcionar, ao menos, fluidez, permitindo sua inserção no interior do canal radicular.

O veículo empregado ao Ca(OH)_2 interfere em sua dissociação iônica e na capacidade de difusão dos íons hidroxila pelos túbulos dentinários e, embora alguns veículos proporcionem uma dissociação mais rápida com conseqüente alcalinização da dentina e dos tecidos perirradiculares, a pasta pode se tornar mais cáustica, quando em contato direto com os tecidos (FAVA & SAUNDERS, 1999). No entanto, a liberação controlada de íons cálcio e hidroxila para o tecido apical e periapical contribui para o seu reparo. Assim, para que uma substância endodôntica desenvolva adequadamente seu mecanismo de ação, ela precisa chegar ao local adequado com altas concentrações de hidrogênio para superar a capacidade *buffer* da dentina e ser letal para as bactérias. Para ESTRELA *et al.* (2005), os veículos desempenham um papel de apoio essencial no processo, fornecendo condições de dissociação do Ca(OH)_2 e difusão de seus íons hidroxila, além de proporcionarem um enchimento mais completo do canal. A maioria dessas substâncias não tem atividade antibacteriana significativa (inertes), como água destilada, solução salina e glicerina. Já outras, como PMCC e clorexidina, são conhecidas por possuírem esta

propriedade, sendo biologicamente ativas (SIQUEIRA & LOPES, 1999; SIQUEIRA, 2001).

De maneira geral, três tipos de veículos podem ser utilizados na preparação da pasta de Ca(OH)_2 : aquoso, viscoso e oleoso. O primeiro grupo é representado por substâncias solúveis em água, com alto grau de solubilidade quando a pasta permanece em contato direto com os tecidos perirradiculares e seus fluidos, sendo rapidamente solubilizado e reabsorvido por macrófagos. Os veículos viscosos são também solúveis em água, mas permitem que o hidróxido de cálcio libere seus íons mais lentamente e por longos períodos. Já os veículos oleosos não são solúveis em água, promovendo uma menor solubilidade e difusão da pasta nos tecidos (FAVA & SAUNDERS, 1999).

Diversos estudos avaliaram a velocidade de dissociação iônica do hidróxido de cálcio associado a diferentes veículos. LAGE-MARQUES *et al.* (1994) observaram essa velocidade em pastas de hidróxido de cálcio com veículos aquosos (anestésico e água destilada), viscoso (polietilenoglicol 400) e oleoso (óleo de oliva) e concluíram que o Ca(OH)_2 , associado ao anestésico, apresentou elevado pH e a melhor relação entre tempo de estabilização e liberação de íons hidroxila. WALTON *et al.* (1995), em um estudo *ex vivo* com 40 dentes, analisaram a influência da associação de veículos à pasta de hidróxido de cálcio (água destilada, solução salina, monoclórofenol canforado e propileno glicol) na liberação de íons cálcio e hidroxila. Seus resultados demonstraram que, após trinta dias, todos os grupos apresentaram um aumento gradual e significativo do pH do meio. Para ESTRELA & BAMMANN (1999), a associação do Ca(OH)_2 a veículos aquosos proporciona uma melhor ação antimicrobiana e biológica, por permitir maior velocidade de dissociação e difusão.

Clinicamente, situações que requeiram uma rápida liberação iônica no início do tratamento precisam de uma pasta de Ca(OH)_2 contendo um veículo aquoso,

enquanto aquelas que requeiram uma liberação iônica uniforme e gradual precisam de uma pasta contendo um veículo viscoso. Pastas contendo veículos oleosos têm seu uso restrito, sendo empregadas apenas onde uma dissociação iônica muito baixa é necessária (VIANNA *et al.*, 2009).

Além de influenciarem na velocidade de difusão e dissociação do hidróxido de cálcio, os veículos e associações também podem interferir na ação antimicrobiana da MIC. Com o objetivo de potencializar essa ação bactericida, estudos (SIQUEIRA & UZEDA, 1996; SIQUEIRA & UZEDA, 1998; EVANS *et al.*, 2003; SIGNORETTI *et al.*, 2011) sugerem a associação de Ca(OH)_2 a outros agentes antimicrobianos, como o PMCC e a clorexidina (CHX). A associação de Ca(OH)_2 com PMCC fornece um espectro antibacteriano mais amplo e eficácia antibacteriana mais rápida do que as misturas de Ca(OH)_2 com veículos inertes (SIQUEIRA & UZEDA, 1996; SIQUEIRA & UZEDA, 1998; GOMES *et al.*, 2002; MENEZES *et al.*, 2004), além de se difundirem em maior profundidade nos túbulos dentinários (LIMA *et al.*, 2013). SIGNORETTI *et al.* (2011) sugerem a associação da CHX ao Ca(OH)_2 , pois aquela apresenta ações complementares a este, agindo à distância, mostrando efeitos antimicrobianos residuais, substantividade, sendo também eficaz contra os microrganismos. Assim, o fator motivador da associação do hidróxido de cálcio à clorexidina seria o aumento da capacidade antimicrobiana da MIC, melhorando sua capacidade de penetrabilidade nos túbulos dentinários, ou seja, seria a atuação do hidróxido de cálcio como barreira física, enquanto a clorexidina atuaria por meio da sua ação de substantividade (REIS *et al.*, 2018).

Finalmente, independentemente do veículo utilizado, a pasta de hidróxido de cálcio deve, idealmente, preencher todo o espaço do canal radicular para atuar efetivamente como MIC (GOMES *et al.*, 2003).

1.2.1.4 Técnicas de preenchimento intrarradicular por Ca(OH)_2

Considerando a necessidade de preenchimento completo do canal radicular para a efetiva ação do hidróxido de cálcio quanto à dissociação e à difusão de seus íons hidroxila, diversas técnicas diferentes para inserção das pastas em canais radiculares têm sido propostas, estudadas e comparadas, conforme resumido na Tabela 1. A qualidade obtida em um selamento temporário depende, além da técnica empregada, de condições específicas do SCR, como curvatura da raiz, modelagem e secagem do canal, além de instrumentos e materiais empregados (STAEHLE *et al.*, 1997).

Uma vez que o preenchimento homogêneo dos canais radiculares por todo comprimento de trabalho (CT) pela MIC tem um papel fundamental para que as substâncias utilizadas exerçam suas ações, não devemos dispensar esforços para que a técnica de inserção escolhida seja realmente eficaz na inserção da pasta medicamentosa e preenchimento do SCR.

Inicialmente, um fator essencial, que pode interferir diretamente no completo preenchimento dos canais principais pela MIC, é o alargamento apical. Ele pode tanto facilitar a penetração dos instrumentos transportadores da medicação quanto permitir o depósito de um volume maior da pasta (PETERS *et al.*, 2005). Alguns estudos demonstraram um preenchimento mais efetivo quando a dilatação apical era realizada pelo menos ao diâmetro mínimo de um instrumento Kerr #40 (PETERS *et al.*, 2005; SIMCOCK & HICKS, 2006). A deposição de um volume maior da pasta à base de hidróxido de cálcio oferece mais resistência à penetração de fluidos perirradiculares no canal, garante um melhor selamento e atinge uma propriedade antimicrobiana mais potente.

Tabela 1: Estudos anteriores comparando técnicas de inserção de pastas de hidróxido de cálcio.

Estudo	Tipo de canal/ Instrumento de memória #	Técnicas de Inserção Comparadas	Método de Análise	Resultados/ Conclusões
SHARIFI et al., 2019	Blocos de acrílico com curvaturas simuladas de 24 e 44°, #30	Inserção e agitação de Ca(OH) ₂ por: Instrumento manual; Lentulo; Instrumento rotatório	Radiografia	Instrumentos rotatórios apresentaram maior média de densidade de hidróxido de cálcio nos canais. Nos canais com curvaturas menores a densidade de Ca(OH) ₂ foi maior. Maiores médias de densidade foram observadas a 11 mm do ápice, e médias mais baixas no terço apical.
GALVÃO et al., 2017	Incisivos centrais superiores humanos, unirradiculares, #50	Inserção e agitação de Ca(OH) ₂ por: Instrumento manual; Lentulo; e Instrumento manual+EndoActivator	Radiografia	Lentulo e instrumento manual tiveram menores volume de vazios em comparação ao Instrumento manual+EndoActivator.
SMUTHKEEREE et al., 2015	Segundo molares inferiores deciduos humanos; #30	Inserção de Ca(OH) ₂ por: Ca(OH) ₂ manipulada com água destilada+Lentulo; Ca(OH) ₂ manipulada com água destilada+sistema de Injeção; UltraCal® XS+Lentulo; UltraCa® XS.	Radiografia	UltraCal® XS (sistema de Injeção) promoveu menos inclusões de ar.
TAN et al., 2013	Dentes anteriores unirradiculares humanos, #40	Inserção de Ca(OH) ₂ por: CalciCur®+espaçador digital; CalciCur®+ Lentulo; sistema de Injeção+transportador de pasta projetado	Radiografia	O transportador de pasta projetado foi superior.
GIBSON et al., 2008	Dentes humanos traumatizados e assintomáticos, #70	Inserção de Ca(OH) ₂ por: Lentulo e UltraCa® XS.	Radiografia	UltraCal® XS (sistema de Injeção) produziu melhores resultados.
SIMCOCK & HICKS, 2009	Segundo pré-molares humanos, unirradiculares*	Inserção de Ca(OH) ₂ por: Lentulo; UltraCa® XS; Flex-O file; Instrumento NITI com rotação reversa.	Radiografia	Canais com maior dilatação apical produzem menos vazios, independente da técnica. UltraCal® XS (sistema de Injeção) foi superior em canais completamente preparados.
PETERS et al., 2005	Canais simulados com curvatura de 50°*	Inserção de Ca(OH) ₂ por: Lentulo; sistema de Injeção.	Radiografia	Lentulo foi superior. Os canais com instrumentação # 40 tiveram menor número de vazios.
TORRES et al., 2004	Canais simulados com curvatura de 44°, #40	Inserção de Ca(OH) ₂ por: UltraCal® XS; UltraCal® XS+Lentulo; Lentulo	Radiografia	Em CT-1mm: Lentulo foi superior. Em CT-3mm: técnica combinada de UltraCal® XS+Lentulo foi superior.
ESTRELA et al., 2002	Pré-molares de caninos, #50	Inserção de Ca(OH) ₂ por: Instrumento endodôntico; Compactador McSpadden; e espiral Lentulo.	Radiografia	O instrumento endodôntico foi superior.
OZTAN et al., 2002	Canais simulados com curvatura de 42°, #40	Inserção de Ca(OH) ₂ por: Lentulo; Pastinject	Radiografia	Pastinject foi superior, independente do veículo.
DEVEAUX et al., 2000	Pré-molares humanos, unirradiculares, #25	Inserção e agitação de Ca(OH) ₂ por: MecaShaper; Instrumento tipo K ultrassônico; Condensador de guta percha; Pastinject; Lentulo.	Radiografia	Pastinject foi superior.
STAEHLE et al., 1997	Dentes unirradiculares humanos (Incisivos e caninos), #50	Inserção de Ca(OH) ₂ por: Lentulo; sistema de Injeção; Instrumento endodôntico manual.	Radiografia	Lentulo e sistema de Injeção foram superiores.
SIGURDSSON et al., 1992	Raízes mesiais de molares superiores humanos, #25	Inserção de Ca(OH) ₂ por: Lentulo; Calasept®+espaçador digital; Instrumento endodôntico manual	Radiografia	Lentulo foi superior.

* Estudos com tamanhos variados de Instrumento de Memória para fins comparativos

Após o PQM, devemos nos atentar à secagem dos canais radiculares com cones de papel absorvente estéreis, pois resquícios de irrigantes endodônticos interferem na difusão de íons de hidroxila através da dentina e prejudicam o contato da pasta de hidróxido de cálcio com as paredes dos canais radiculares (SIMCOCK & HICKS, 2006).

A escolha pela técnica de inserção da pasta de Ca(OH)_2 deve ser pensada para cada situação clínica encontrada, já que, para promover a dissociação e difusão de íons hidroxila, é necessário o preenchimento correto do canal radicular. E indicar a melhor técnica para introdução da MIC ainda é um assunto bastante controverso.

A técnica que utiliza a espiral Lentulo é bastante difundida e já teve sua efetividade investigada em diversos estudos. SIGURDSSON *et al.* (1992) compararam a qualidade do preenchimento de canais de molares, extraídos, pela pasta de hidróxido de cálcio por um sistema de seringa, Lentulo e instrumento manual tipo Kerr, e concluíram que Lentulo é um instrumento adequado para inserir pasta de Ca(OH)_2 por todo o CT, ainda que em canais minimamente instrumentados (Kerr #25). STAEHLE *et al.* (1997), em um estudo semelhante, concluíram que preenchimentos realizados com espirais de Lentulo foram significativamente melhores quando comparados aos instrumentos manuais, ainda que o sistema de seringa tenha produzido mais porosidades apicais. Resultados semelhantes foram encontrados por DEVEAUX *et al.* (2000), que avaliaram cinco técnicas diferentes de preenchimento por curativo à base de hidróxido de cálcio em dentes unirradiculares extraídos e concluíram que os transportadores de pasta, como a Lentulo, permitem um preenchimento satisfatório do canal radicular. Mais estudos confirmam a efetividade da espiral Lentulo no preenchimento dos canais por pasta de Ca(OH)_2 (TORRES *et al.*, 2004; PETERS *et al.*, 2005; GALVÃO *et al.*, 2017). Entretanto, outras

investigações demonstraram resultados contrários pelo preenchimento por Lentulo quando comparado a uma técnica manual com condensação vertical (ESTRELA *et al.*, 2002) ou ao *Pastinject*, que difere da Lentulo pelo seu *design* (OZTAN *et al.*, 2002), a um carreador de pasta especialmente projetado (TAN *et al.*, 2013) ou ainda quando comparado ao preenchimento realizado por um instrumento rotatório (SHARIFI *et al.*, 2019).

Ainda que a espiral Lentulo seja uma técnica de aplicação eficaz e já utilizada há muito tempo, problemas com o encaixe do batente na peça de mão e a fratura do instrumento são desvantagens desta técnica (KAHN *et al.*, 1997; BAWAZIR & SALAMA, 2006). E assim, outras técnicas vêm sendo investigadas, seja associando-as à Lentulo, seja individualmente.

Os insertos ultrassônicos e sônicos já são utilizados na prática endodôntica para otimizar, simplificar e aumentar a eficiência do PQM, além de auxiliar na remoção de MIC e no espalhamento de cimentos endodônticos. A técnica ultrassônica é semelhante à técnica auxiliada pela agitação sônica; a velocidade de vibrações é que se apresenta superior, além de utilizar uma ponta metálica. Sendo assim, RUDDLE (2009) propôs o uso de um recurso sônico (EndoActivator - EA) para auxiliar o preenchimento do canal com MIC à base de hidróxido de cálcio, indicando que a oscilação de sua ponta plástica empurraria a medicação contra todas as paredes do SCR, eliminando bolhas e permitindo o preenchimento dos espaços do canal radicular. Ao ser testado por GALVÃO *et al.* (2017), eles concluíram que a agitação sônica parecia desalojar a medicação e não favorecer o preenchimento, contraindicando seu uso para tal propósito. Resultados semelhantes foram fornecidos para os insertos ultrassônicos. DEVEAUX *et al.* (2000) compararam cinco métodos de inserção de pasta de Ca(OH)_2 e demonstraram que o dispositivo ultrassônico parece romper e dispersar a pasta de hidróxido de cálcio em vez de torná-la mais densa,

mostrando-se inferior a outras técnicas. DE ALMEIDA BARBOSA *et al.* (2020) analisaram se o auxílio de agitação sônica e ultrassônica permitiriam uma maior penetração intratubular de pastas medicamentosas à base de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Também concluíram que esses métodos não forneciam maiores benefícios. Resultados contrários foram encontrados por ARIAS *et al.* (2016), que realizaram uma investigação semelhante com agitação ultrassônica, em dentes bovinos, e concluíram que essa agitação permite sim um espalhamento mais profundo (intratubular) da pasta, resultando em um nível mais alto de liberação de íons hidroxila e, conseqüentemente, um aumento do pH no interior dos túbulos dentinários.

Ainda nesse contexto, a utilização de seringas carreadoras específicas para inserção de pastas de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tem sido apontada como método alternativo. SIGURDSSON *et al.* (1992) avaliaram três técnicas diferentes de inserção de hidróxido de cálcio, dentre elas o uso de um sistema de seringa e cartucho semelhante ao encontrado no Calasept®, com diâmetro externo da agulha de 0,8 mm, e concluíram que, em somente na metade dos casos, o preenchimento ocorreu por todo o CT. Os autores acreditam que os resultados podem ter sido influenciados pela pouca dilatação apical (instrumentação apical com Kerr #25) e pela curvatura presente no canal. A um resultado semelhante chegaram RAHDE *et al.* (2006), concluindo que o sistema de entrega de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ por seringa UltraCal® XS parece ser inadequado para uso em canais curvos, pelo diâmetro da ponta fornecida com o kit (0,76 mm) ser incompatível com os canais radiculares severamente curvados. TORRES *et al.* (2004) avaliaram o uso de UltraCal® XS em canais simulados em blocos de acrílicos, com curvatura de 44° e dilatação apical de diâmetro 40, e concluíram que só a Lentulo ou sua combinação com o sistema de seringa tinham melhor qualidade do que o uso exclusivo do UltraCal® XS. Já STAEHLE *et al.* (1997) avaliaram o uso de seringas, mas acopladas a agulhas de diâmetro externo menor, de 0,6 mm, e seus resultados

mostraram que é possível obter um preenchimento intrarradicular de alta qualidade em canais retos ou ligeiramente curvos com dilatação apical maior (compatível com Kerr #50). Na mesma direção, SMUTHKEEREE *et al.* (2015) analisaram o preenchimento por duas pastas de Ca(OH)_2 diferentes, tanto por seringa quanto por Lentulo, e descobriram que não havia diferença estatisticamente significativa na porcentagem média da área preenchida entre as duas técnicas, resultados semelhantes aos encontrados por SIMCOCK & HICKS (2006).

1.3 MICROTOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA (μCT)

A avaliação do uso potencial da μCT como um sistema avançado para pesquisas endodônticas detalhadas data da década de 1990. NIELSEN *et al.* (1995) observaram que ela surgiu para oferecer avanços significativos na capacidade de reconstruções minuciosas dos tecidos dentários de tratamentos *in vitro*, como instrumentações e obturações, e que seus dados extremamente específicos permaneciam verificáveis no caso de avaliações futuras.

Segundo NEELAKANTAN *et al.* (2010), a técnica ideal para análise em estudos deve ser simples, precisa, não destrutiva e possível de ser empregada no cenário *in vivo*. Atualmente, a μCT é a técnica que mais se aproxima dessas características ideais (VERMA & LOVE, 2011), sendo, portanto, considerada como padrão-ouro no estudo da anatomia do SCR. Através de uma escala micrométrica, a μCT possibilita reconstruções 3D com alta precisão e o uso de ferramentas de manipulação e aprimoramento de imagens (NIELSEN *et al.*, 1995; VERMA & LOVE, 2011), mas limita-se a avaliar alterações ocorridas em estruturas mineralizadas (METZGER *et al.*, 2013) por ser uma técnica baseada em emissão de raios-X.

RHODES *et al.* (1999) desenvolveram um protótipo de μ CT adaptado para imagem de dentes e avaliaram a possibilidade de quantificar o PQM de canais radiculares através desse instrumento, concluindo que esse é um método eficaz para ser utilizado em Endodontia. A μ CT revelou-se, portanto, como um grande avanço tecnológico, consolidando-se como um dos métodos mais preciso de análises morfológicas e volumétricas do SCR (SWAIN & XUE, 2009). A análise da μ CT permite que se obtenha, de maneira automática, dados quantitativos, como a mensuração de valores correspondentes à área, ao diâmetro e ao perímetro de diversas seções de um mesmo dente. Algoritmos podem ser utilizados na avaliação das imagens reconstruídas, como circularidade, fator de forma e SMI (*structure model index*), possibilitando, assim, uma descrição matemática de características anatômicas do canal radicular. Ademais, *softwares* permitem cálculos precisos de volume e área de superfície do canal (PETERS *et al.*, 2000; VERSIANI *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2016).

Ao longo do tempo, diferentes estudos passaram a utilizar a avaliação microtomográfica para análise da anatomia interna dos dentes (DOWKER *et al.*, 1997; RHODES *et al.*, 1999; VERMA & LOVE, 2011; MARKVART *et al.*, 2012), além de sua geometria e forma (BJØRNDAL *et al.*, 1999; PETERS *et al.*, 2000; HÜBSCHER *et al.*, 2003 ; AYDIN *et al.*, 2019; FILIZOLA DE OLIVEIRA *et al.*, 2019), morfologia e detalhes pós instrumentação (PETERS *et al.*, 2000; METZGER *et al.*, 2010; MARKVART *et al.*, 2012; KABIL *et al.*, 2021). A μ CT também foi utilizada em estudos para analisar obturações do SCR (JUNG *et al.*, 2005; HAMMAD *et al.*, 2009; MOKEEM-SALEH *et al.*, 2009; GANDOLFI *et al.*, 2013; ZOGHEIB *et al.*, 2012; NASERI *et al.*, 2013; KELEŞ *et al.*, 2018 ; MELANOVIC *et al.*, 2020), além da remoção de medicação intracanal (WISEMAN *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014; LI *et al.*, 2015; LLOYD *et al.*, 2016; DENNA *et al.*, 2020), mas estudos que avaliem as técnicas de inserção de MIC, precisam ser desenvolvidos.

A μ CT apresenta elevada significância de correlação entre as imagens obtidas antes e após o PQM, sendo uma técnica reproduzível e não invasiva do SCR, permitindo a obtenção de imagens prévias, durante e pós o preparo dos canais, sem a imposição de injúrias à amostra. Segundo GANDOLFI *et al.* (2013), o método provou ser uma poderosa ferramenta que permite a análise 3D de poros, vazios e lacunas. Portanto, pode ser indicada para estudos de preenchimento de canais por MIC, bastando relacionar tais dados às paredes e ao volume prévio do canal radicular, superando a limitação de análises bidimensionais (2D) *in vitro* ou *ex vivo*, podendo gerar informações que poderão ser extrapoladas, posteriormente, para a prática clínica.

2. JUSTIFICATIVA

Considerando a importância do preenchimento tridimensional do canal radicular pela medicação intracanal, torna-se fundamental comparar a qualidade obtida pela inserção da pasta à base de hidróxido de cálcio através de diferentes técnicas e instrumentos. Sendo assim, o presente trabalho propõe a análise tridimensional por μ CT de quatro diferentes técnicas de inserção da medicação intracanal (espiral Lentulo, manual com agitação sônica, manual com agitação ultrassônica e agulha com seringa carreadora), uma vez que os estudos anteriores utilizaram métodos qualitativos, com análises radiográficas bidimensionais.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Comparar a qualidade do preenchimento tridimensional de canais radiculares proporcionada por quatro diferentes técnicas de inserção intracanal de pastas à base de hidróxido de cálcio (espiral Lentulo, manual com agitação sônica, manual com agitação ultrassônica e agulha com seringa carreadora).

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar e quantificar os espaços não preenchidos (*voids*)
- Quantificar o volume de Ca(OH)_2 inserido
- Avaliar e quantificar as paredes não tocadas (*gaps*)
- Correlacionar os valores obtidos pela análise de *voids* com volume da pasta e *gaps* em paredes não tocadas

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Seleção Inicial da Amostra

Para a realização deste estudo, foram obtidos cento e cinquenta e dois pré-molares inferiores, cedidos pelo Biobanco da Universidade do Grande Rio - Professor José de Souza Herdy (Duque de Caxias, Rio de Janeiro). A amostra inicial incluiu apenas dentes inferiores, com rizogênese completa e unirradiculares. Tais critérios foram avaliados visualmente.

4.1.1 Análise microtomográfica prévia

Os dentes pré-selecionados foram escaneados pelo microtomógrafo SkyScan 1174 v.2 (Bruker Micro-CT, Kontich, Bélgica) para avaliação morfométrica tridimensional (3D) quanto ao volume, área de superfície, anatomia interna e comprimento do canal. A aquisição das imagens foi realizada no microtomógrafo do Laboratório de Biomateriais da Universidade do Grande Rio, com resolução isotrópica de 18,99 μm , 50Kv e 800 μA . Para o escaneamento, cada elemento foi fixado no suporte com cera utilidade (Technew, Rio de Janeiro, RJ, Brasil) e, após o posicionamento do elemento dentário e o fechamento da câmara do aparelho, a fonte de raios-X foi acionada e a posição da raiz verificada pelo uso da ferramenta *Video Image* do programa de controle do *SkyScan 1174 v.2*. Com a confirmação da posição, as projeções dos espécimes foram iniciadas em diversas angulações, ao longo de uma rotação de 180°, com passos de rotação de 1.0°. Durante os escaneamentos, foi utilizado um filtro de alumínio de 0,5 mm de espessura. O tamanho de *voxel*/isotrópico definido permitiu o estabelecimento de um tempo de escaneamento de aproximadamente, 17 minutos e 40 segundos por espécime. Ao final da aquisição das imagens, os dentes foram armazenados em frascos identificados por números

arábicos, contendo solução salina para reidratação, e permaneceram nessas condições até o momento do experimento.

4.1.2 Reconstrução das imagens, critérios de exclusão e pareamento da amostra

Em seguida, foram realizadas as reconstruções das imagens 3D dos elementos através do programa NRecon v1.6.9.18 (Bruker Micro-CT, Kontich, Bélgica). Os parâmetros foram testados e definidos como 10 para *ring artifact correction*, 30% de *beam hardening* e 7 para *smoothing*. Fatias transversais axiais das estruturas dos canais radiculares foram criadas e as imagens reconstruídas foram segmentadas, binarizadas e analisadas morfometricamente no *software ImageJ Fiji v.1.53c* (Fiji, Madison, WI, EUA), quanto ao volume, área, anatomia interna e comprimento radicular. Os critérios de exclusão definidos foram: presença de mais de um canal, de canais acessórios, de anatomia complexa e de tratamento endodôntico prévio, além de comprimentos radiculares menores que 10,5 mm. Assim, 64 dentes foram elencados para comporem a amostra do trabalho. As imagens binarizadas criadas no *ImageJ* (com sequência salva no formato BMP) da dentina e do canal dos 64 dentes também passaram por segmentação no programa CTAn v.14.4.1 (Bruker Micro-CT, Kontich, Bélgica) para terem, então, seus modelos 3D reconstruídos no programa CTVol v.2.2.3.0 (Bruker Micro-CT, Kontich, Bélgica). A sequência de aquisição, reconstrução, segmentação e análise morfométrica poderá ser observada na Figura 1.

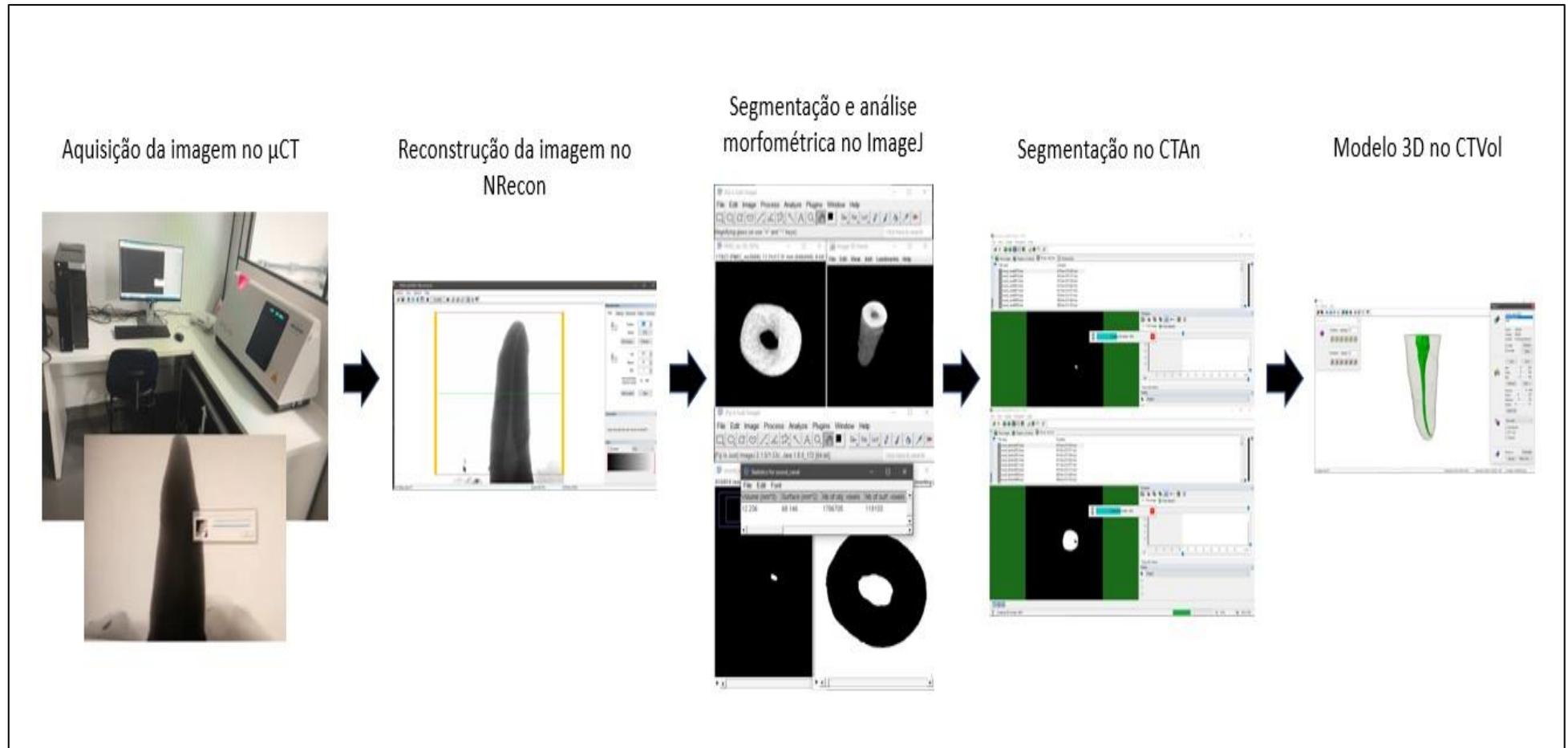


Figura 1. Sequência de aquisição, reconstrução, segmentação e análises morfológicas através de microtomografia

Posteriormente, a amostra foi pareada quanto à anatomia interna e ao volume do canal em quartetos. Com o intuito de manter uma distribuição uniforme dos grupos, a amostra foi dividida em 4 conjuntos de 16 elementos cada, de maneira aleatória, respeitando os quartetos definidos (um elemento do quarteto para cada grupo), que foram nomeados de acordo com a técnica a ser utilizada para a inserção da pasta de Ca(OH)_2 como grupo LEN (espiral Lentulo), grupo EA (manual + ativação sônica com EndoActivator), grupo PUI (manual + ativação ultrassônica com inserto Irrisonic E1) e UL (agulha + seringa carreadora UltraCal[®] XS). O resultado do pareamento pode ser observado na Figura 2.

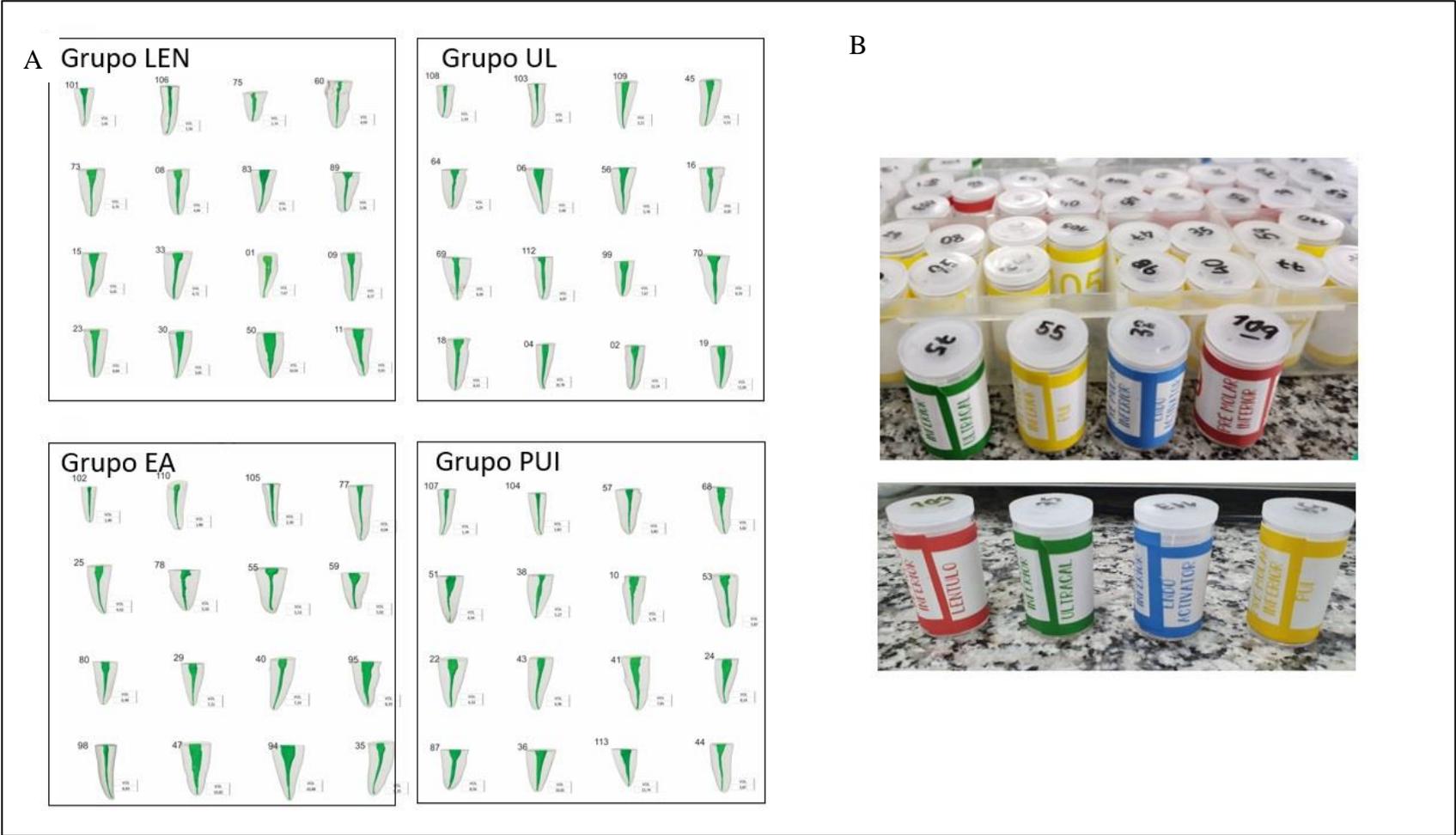


Figura 2.- Amostra selecionada, pareada e dividida em grupos. A: Divisão dos grupos. B: Caixa organizadora com a amostra separada em frascos coloridos e identificados com números arábicos e cores

4.2 Preparo do SCR

A instrumentação dos canais foi realizada por um único operador especialista em Endodontia, previamente treinado para o sistema. Os elementos foram fixados em um mini torno de bancada em metal 40 mm (Starfer Ferramentas, Porto Alegre, RS, Brasil), com o objetivo de garantir a padronização e o controle dos movimentos de instrumentação. A partir daí, tiveram sua abertura oclusal e acesso à câmara pulpar realizados por uma ponta diamantada esférica nº 1014 HL (FG KG Sorensen, São Paulo, SP, Brasil) acionada em alta rotação sob refrigeração. Na sequência, cada canal foi irrigado com 4 ml de hipoclorito de sódio (NaOCl) a 2,5% (Fórmula & Ação, São Paulo, SP, Brasil) com a agulha NaviTip 30 gauge (Ultradent Products, Inc., South Jordan, UT, Estados Unidos) adaptada em seringa descartável de 5 ml BD Esmerald™ Saf-T (Becton Dickinson Ind. Cirúrgica LTDA., Curitiba, PR, Brasil), por 60 segundos, tempo que foi cronometrado. Um instrumento endodôntico manual tipo Kerr #20 (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Suíça) foi inserido no canal com objetivo exploratório e, com auxílio de um microscópio óptico de mesa MU-M19 (DF Vasconcellos, Valença, Rio de Janeiro, Brasil), quando a ponta do instrumento exploratório tornou-se visível além da extremidade apical dentária (Figura 3), um cursor de silicone foi ajustado em sua borda oclusal, o instrumento removido do canal e o comprimento do dente (CD) determinado pela medição do comprimento da ponta do instrumento ao cursor, através régua milimetrada (Odous de Deus, Belo Horizonte, MG, Brasil). O comprimento de trabalho foi estabelecido recuando 0,5 mm do comprimento do dente e o comprimento de patência (CP), acrescentando 1 mm ao CD. As amostras foram, então, todas preparadas químico-fisicamente com o instrumento 40/.06 (R40) do sistema Reciproc (VDW, Munich, Germany) acoplado ao conjunto do contra ângulo redutor 6:1 Sirona e motor VDW *Silver* (SN 25185; VDW GmbH, Munique, Alemanha). O instrumento trabalhou, inicialmente, nos terços cervical e médio, para depois ser

avançado em direção apical, através de três movimentos de bicada de amplitude entre 3 e 4 mm. Após cada ciclo, o instrumento foi retirado e limpo em gaze estéril, o canal irrigado com 4ml de solução de NaOCl a 2,5% durante 60 segundos e a patência do canal confirmada por inserção do instrumento endodôntico manual tipo Kerr #20. A sequência foi repetida até que o CT fosse alcançado e um volume de 12 ml de solução de NaOCl a 2,5% fosse utilizado. Assim que o CT foi atingido e o volume de hipoclorito de sódio alcançado, o elemento dentário foi irrigado por mais 3 ml de EDTA (ácido etilenodiaminotetracético) trissódico a 17% (Biodinâmica Ind. Com., Ibiporã, PR, Brasil) por 60 segundos, para remoção do *smear layer*, seguido por mais 3 ml de NaOCl a 2,5% pelo mesmo tempo e seco por pontas de papel absorventes estéreis R40 (VDW, Munich, Germany). O fluxograma da etapa de acesso e PQM pode ser visualizado na Figura 4.

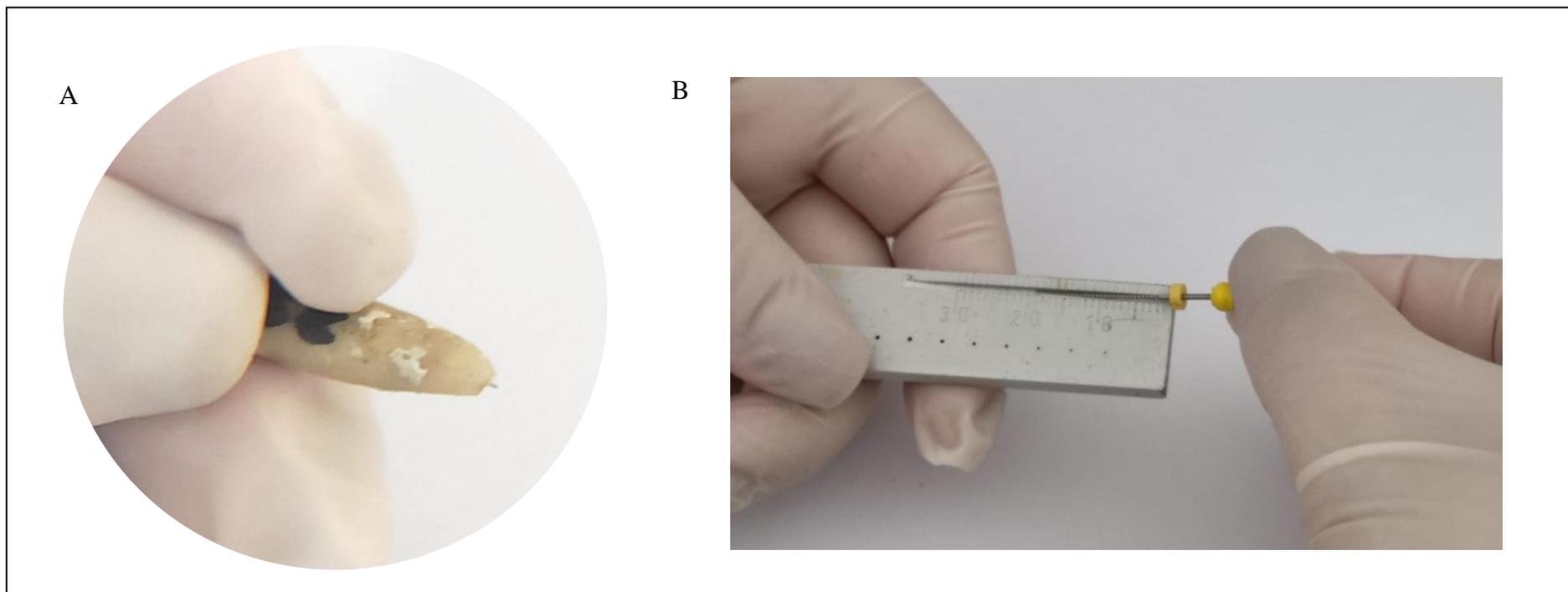


Figura 3. Determinando o comprimento de trabalho. A – Introduzindo o instrumento e analisando-o ultrapassar o forame pelo microscópio.
B – Medindo o comprimento do dente

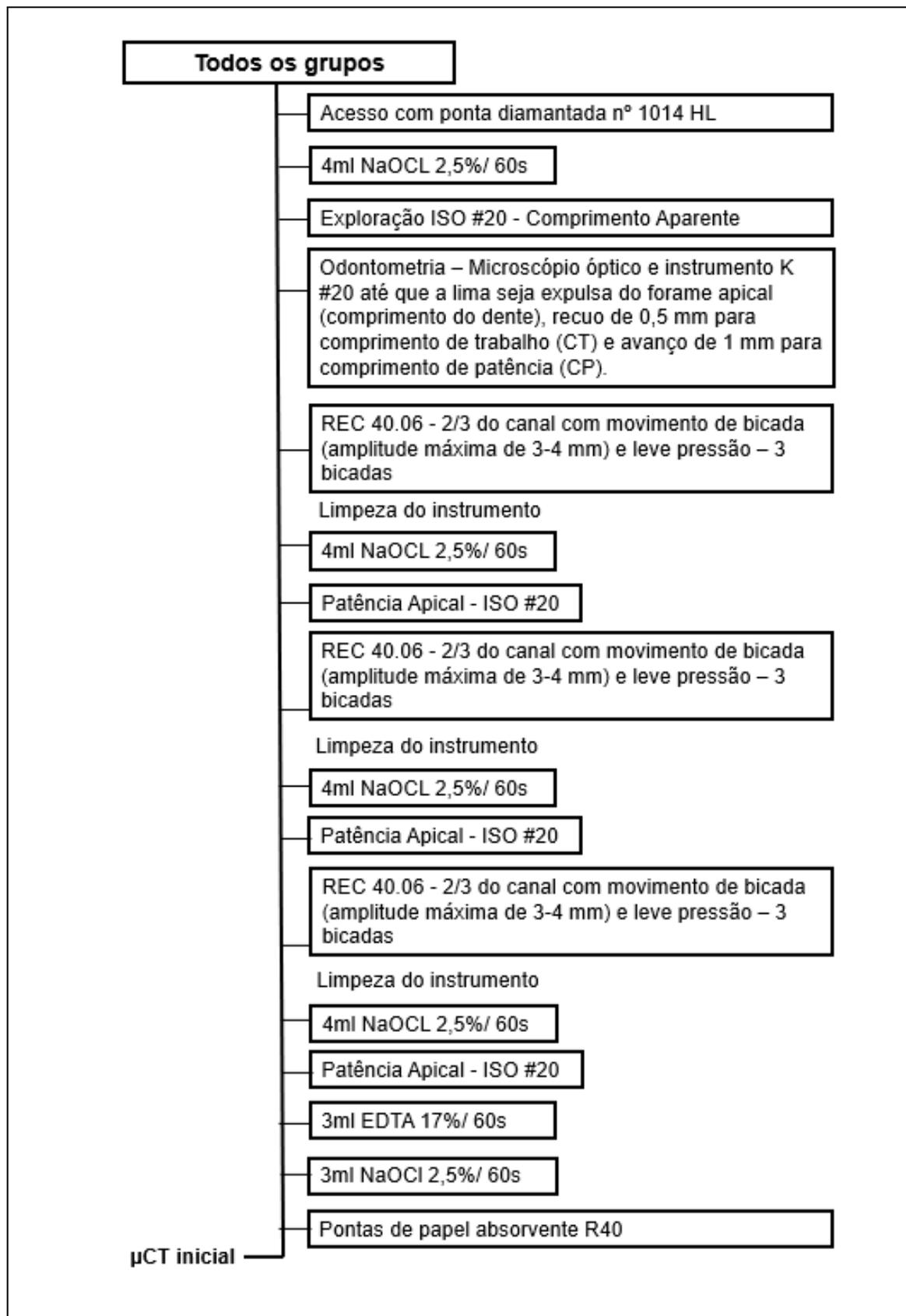


Figura 4. Fluxograma de acesso e preparo químico-mecânico da amostra

4.3 Análise microtomográfica inicial

Todos os elementos selecionados e preparados químico-mecanicamente foram escaneados no microtomógrafo, as imagens reconstruídas no *software* NRecon, binarizadas e segmentadas no *ImageJ*, seguindo os mesmos parâmetros utilizados para o pareamento. O comprimento de análise (CA) total foi padronizado como 10 mm, a contar do limite apical do CT em direção cervical. A zona crítica apical foi considerada como os 4 mm apicais e os terços médio e cervical como 3 mm cada. A definição do CA total e de seus terços pode ser visualizada na Figura 5.

O *plugin* de análise *3D Object Counter* do *ImageJ* foi utilizado para calcular valores de volume, área intrarradiculares e número de *voxels* estáticos (superfície) pós instrumentação no CA total e nos 4 mm apicais (considerada a zona crítica apical).

4.4 Preenchimento do canal pelo Ca(OH)_2

Após o escaneamento inicial, todas as amostras foram, então, preenchidas pela pasta UltraCal® XS (Ultradent, Indaiatuba, SP, Brasil), uma pasta aquosa de hidróxido de cálcio, radiopaca, com pH 12,5, para padronização de consistência e radiopacidade, de acordo com a técnica para cada grupo, conforme Figura 6.

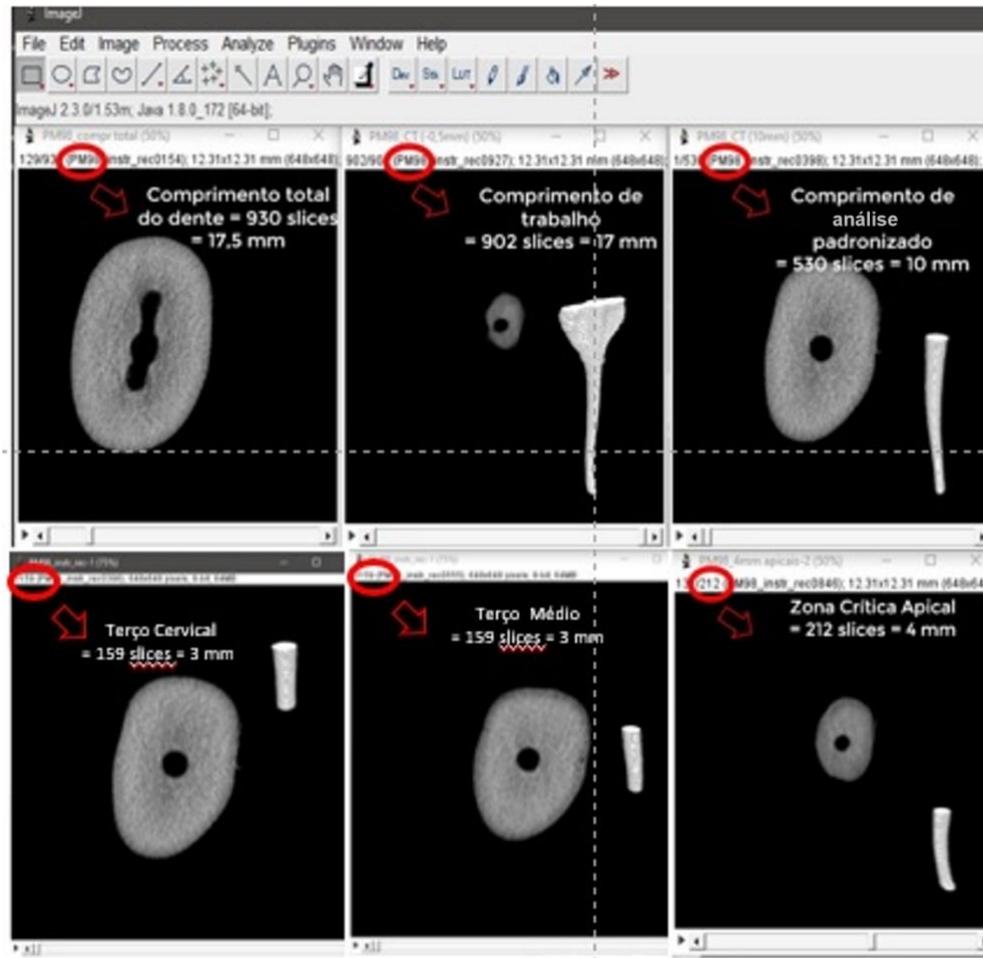


Figura 5: Padronizando o comprimento de análise total, da zona crítica apical e dos terços médio e cervical no ImageJ

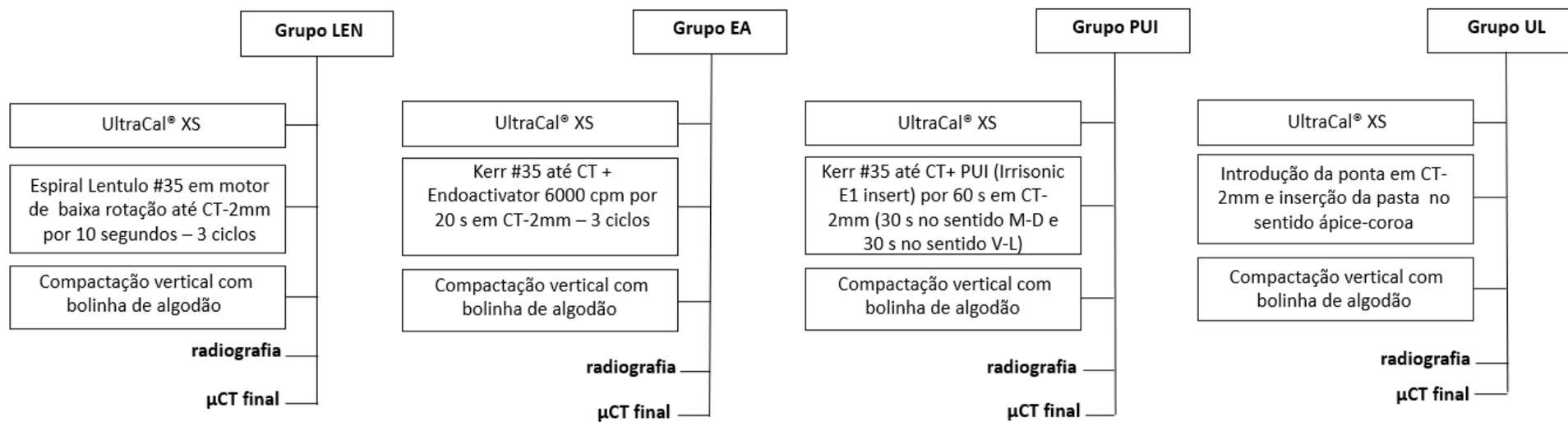


Figura 6. Fluxograma da técnica de inserção de Ca(OH)₂ por grupo

No grupo UL (n=16) foi utilizada a técnica de inserção por agulha e seringa próprios do kit do UltraCal® XS (ponta NaviTip TM e seringa pré carregada Ultradent 1,2 ml, NaviTip TM 29 Ga, 21 mm, Ultradent Products, Inc., EUA), seguindo orientações do fabricante, ou seja, introduzindo a ponta do kit 2 mm aquém do CT, empurrando o êmbolo da seringa para aplicação lenta e contínua, ao mesmo tempo em que a seringa foi sendo afastada do CT no sentido ápico-coronal, até que a pasta fosse observada na entrada do canal, indicando seu completo preenchimento. Após este procedimento, uma bolinha de algodão foi inserida na embocadura do canal, buscando maximizar a compactação da medicação no SCR.

No grupo EA (n=16) a pasta UltraCal® XS, despejada em uma placa de vidro, foi carregada ao CT pelas espirais do instrumento Kerr #35 (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Suíça), em movimentos de inserção longitudinal coroa-ápice, e pincelada contra as paredes do canal girando o instrumento em sentido anti-horário, removendo-o em seguida, lentamente, sem que houvesse interrupção do movimento de rotação anti-horário. Esse procedimento foi repetido até que todo o canal radicular estivesse preenchido com a pasta, visualizando-a no orifício de entrada do canal. Imediatamente após, seguindo protocolo utilizado por GALVÃO *et al.* (2017), a ponta plástica *Blue tip size #35/.04* acoplada ao EndoActivator (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Johnson City, TN, USA) foi introduzida e posicionada em CT-2mm e acionada a 6000 ciclos por minuto (cpm) em 3 ciclos de 20 segundos, cronometrados. Após este procedimento, uma bolinha de algodão foi inserida na embocadura do canal, maximizando a compactação da medicação no SCR.

No grupo PUI (n=16), a pasta foi carregada ao CT como no grupo EA. Após preenchimento do canal, o inserto Irrisonic E1 (Helse Dental Technology, Santa Rosa de Viterbo, SP, Brasil), acoplado ao equipamento ultrassônico Satelec Acteon Booster (Acteon, Gironde, Bordeaux, França), foi introduzido em CT-2mm e acionado por 60

segundos com ativação piezoelétrica em potência de 30%, potência máxima indicada pelo fabricante do inserto ultrassônico. A ativação do hidróxido de cálcio ocorreu nas direções vestibulo-lingual e méσιο-distal (30 segundos em cada direção). O tempo de ação do instrumento foi cronometrado. Após este procedimento, foi inserida uma bolinha de algodão na embocadura do canal, com a finalidade de maximizar a compactação da medicação no SCR.

No grupo LEN (n=16), a pasta UltraCal[®] XS, despejada em uma placa de vidro, foi carregada pela espiral Lentulo número 3 (#35) (Dentply Maillefer, Ballaigues, Suíça) em CT-2mm e acionada por 10 segundos em sentido horário em contra ângulo acoplado ao micromotor de baixa rotação e o instrumento retirado no canal em movimento sentido ápice-coroa. Este processo foi repetido por três vezes para cada elemento dentário e, após este procedimento, uma bolinha de algodão foi inserida na embocadura do canal, a fim de maximizar a compactação da medicação no SCR.

Todas as amostras foram, então, radiografadas.

4.5 Análise Radiográfica

A radiografia periapical foi realizada no sentido vestibulo-lingual, por aparelho de rx portátil Diox (Acteon Brasil, Indaiatuba, São Paulo, SP, Brasil) com potência de 70 Kvp e 8 mA e película radiográfica E-Speed (Carestream Health Inc, Rochester, NY, Estados Unidos), com tempo de exposição de 0,2 segundos e distância filme-objeto de 10 cm, sendo reveladas em câmara escura portátil (Essence Dental, Araraquara, SP, Brasil) pelo método visual, lavadas e secas para verificação da compactação da pasta de Ca(OH)₂. Quando observadas falhas no preenchimento, uma nova inserção de Ca(OH)₂ ocorria, até que fosse obtido resultado qualitativo satisfatório do preenchimento pela visualização radiográfica (Figura7).

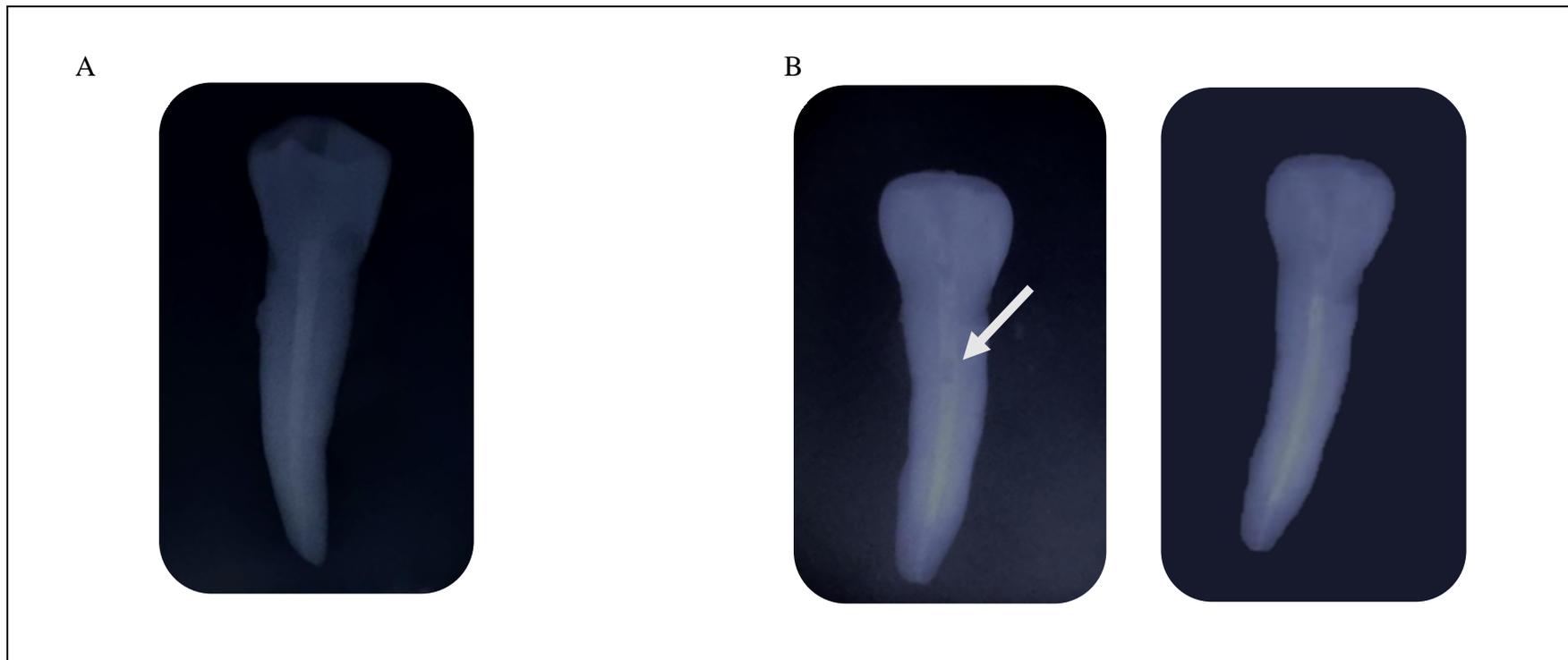


Figura 7. Análise qualitativa radiográfica do preenchimento pela MIC. A – Preenchimento satisfatório. B – Identificação de bolha no preenchimento, com necessidade de repetir a técnica de inserção e tomar uma nova radiografia.

4.6 Análise Microtomográfica Final

Todos os elementos preenchidos pela pasta de Ca(OH)_2 com análise qualitativa radiográfica satisfatória passaram novamente pelas etapas de aquisição de imagens no microtomógrafo, pela reconstrução no NRecon e, então, no *software ImageJ*, as segmentações e análises morfométricas foram realizadas para comparação das imagens obtidas nas duas etapas de escaneamento (inicial e final). Elas foram convertidas para o formato NRRD e trabalhadas no programa *Slicer* v.4.13.0 (www.slicer.org, Artificial Intelligence Laboratory of Massachusetts Institute of Technology and Surgical Planning Laboratory at Brigham and Women's Hospital and Harvard Medical School, Brigham, MA, EUA), a fim de registrá-las na mesma posição e permitir, assim, uma análise comparativa quantitativa, em 3D, dos *gaps* existentes nas paredes dos canais (áreas não tocadas pela MIC), dos espaços vazios totais (*voids*) não preenchidos pela medicação e o volume do preenchimento em relação ao volume total do espaço intrarradicular para todo o CA e para a zona crítica apical.

Para toda a amostra, foi realizada uma análise percentual dos espaços não preenchidos pela MIC, considerando a diferença entre o volume do canal pós instrumentação e o volume da pasta de Ca(OH)_2 inserido, presentes em 10 mm e 4 mm dos canais a partir do extremo apical, nos quatro grupos. O *plugin Image Calculator* do *ImageJ* foi utilizado para realizar a diferença entre o canal preparado e o preenchimento do MIC e depois, o *3D Object Counter* usado para calcular automaticamente os valores de volume, como pode ser visualizado na Figura 8.

Para esses mesmos grupos e pontos foi realizada, também, uma análise das áreas não tocadas pela MIC, considerando como lacunas de interface a interseção entre a borda das paredes dos canais radiculares de cada espécime e os espaços não preenchidos pela pasta de hidróxido de cálcio, como visualizado na Figura 9. Os valores de *voxels* estáticos do canal instrumentado e dos *gaps*, calculados

automaticamente pelo *3D Object Counter*, foram correlacionados, determinando sua porcentagem.

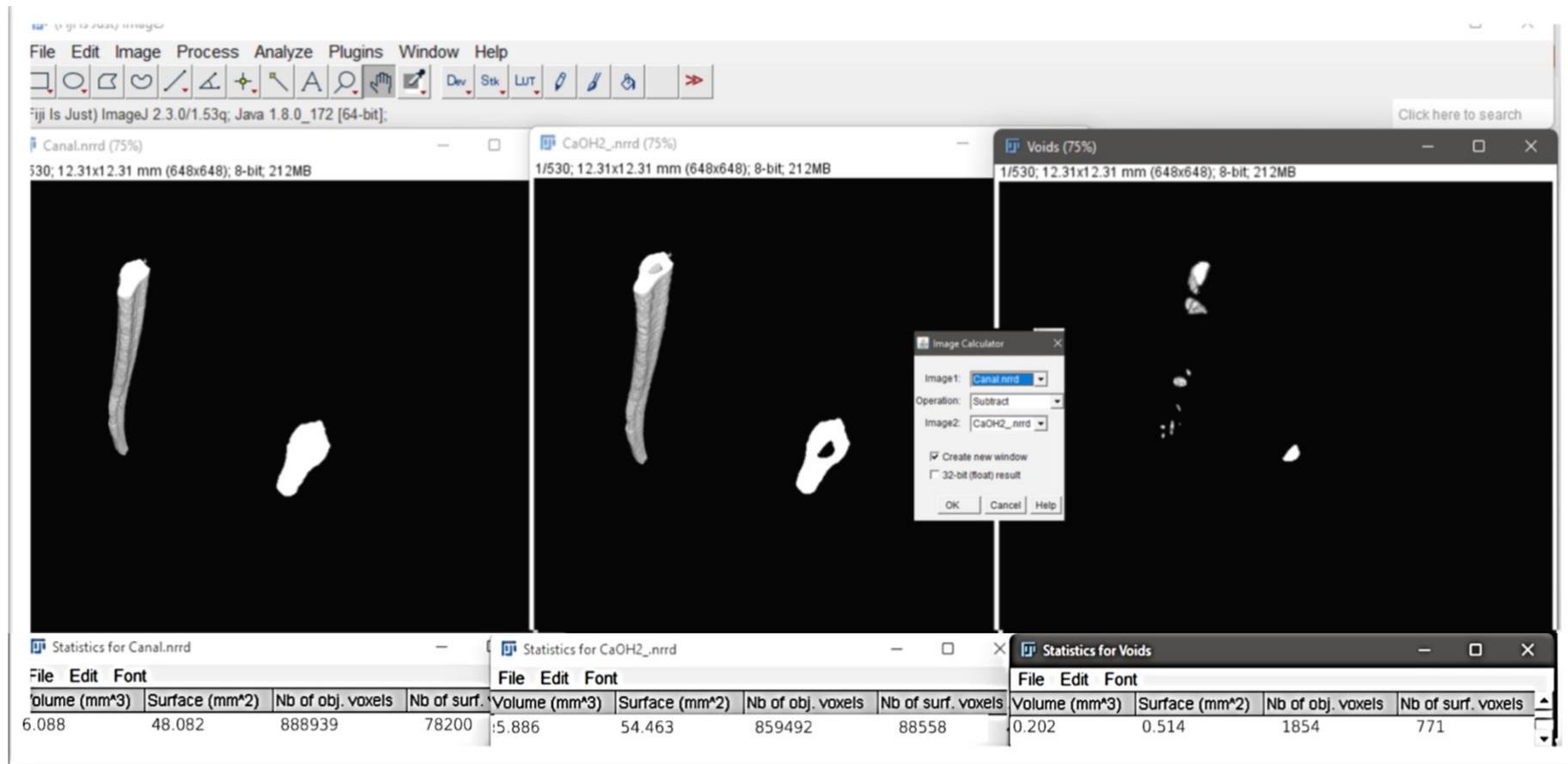


Figura 8 Calculando o volume do canal preparado, da pasta de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e dos voids.

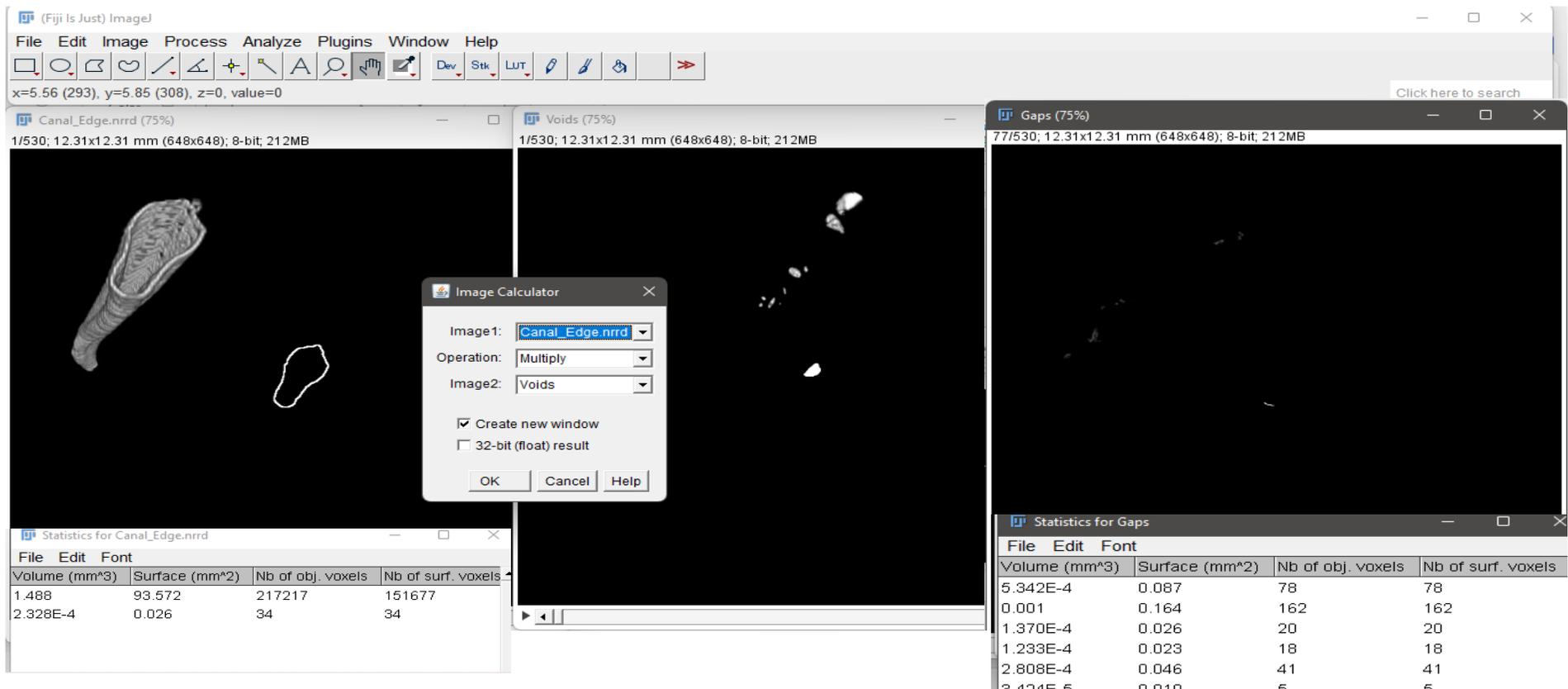


Figura 9. Determinando a área do canal não tocada pela MIC.

4.7 Análise Estatística

O teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* revelou que a amostra apresentou uma distribuição não-normal para todos os dados analisados. O teste de *Kruskall-Wallis* foi então aplicado para comparar o percentual de espaços vazios e as lacunas de interface nos canais radiculares preenchidos por Ca(OH)_2 , em ambos os limites de avaliação (4 mm apicais e o comprimento total de análise de 10 mm), e o nível de significância foi $p < 0.05$. Para todos os testes estatísticos foi utilizado o *software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)*, versão 19.0 (IBM, São Paulo, SP, Brasil).

5. RESULTADOS

As quatro técnicas analisadas apresentaram um preenchimento semelhante, com médias superiores a 90% (relação entre volume do canal radicular e o volume de $\text{Ca}(\text{OH})_2$), para todo o comprimento de análise e em torno de 90% para a zona crítica apical, conforme apresentado na Tabela 2.

As médias de espaços não preenchidos foram próximas a 10%, tanto na zona crítica apical quanto no CA. O grupo UL foi o que apresentou maiores médias de volumes de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e, portanto, menores médias de *voids* em toda a extensão analisada e nos 4 mm apicais. Um único elemento apresentou preenchimento completo do espaço pulpar analisado pela MIC, sendo ele do grupo UL. Esse mesmo grupo apresentou quatro amostras com preenchimento completo da zona crítica apical e o grupo EA uma amostra, o que não ocorreu em nenhuma análise dos grupos PUI e LEN. Esses resultados podem ser observados na Tabela 3.

As lacunas de interface, ou seja, as áreas na parede dentinária que não foram tocadas pelo $\text{Ca}(\text{OH})_2$, apresentaram médias inferiores a 6% no CA e 8% no terço apical (Tabela 4). Para essa variável, todos os grupos apresentaram ao menos um elemento cada com toda sua parede sendo tocada pelo hidróxido de cálcio na zona crítica apical e, para todo CA, os grupos UL e EA apresentaram duas amostras cada. O grupo UL apresentou menores médias de *gaps* para o CA e o grupo LEN para os 4 mm apicais.

Mesmo apresentando diferenças, os resultados encontrados revelaram que essas não eram estatisticamente significantes ($p > 0.05$) na comparação das quatro técnicas de preenchimento, para todas as variáveis, nos dois limites avaliados (10 e 4 mm).

Tabela 2: Resultado do preenchimento dos canais pela pasta de Ca(OH)₂, relacionando o volume inicial do canal e o volume da MIC inserida

Técnica de Inserção (grupo)	n	Nível	Volume Inicial (mm ³)			Volume de Ca(OH) ₂ (mm ³)			Preenchimento (vol Ca(OH) ₂ / vol inicial) (%)		
			Média ± DP	Mediana	Mín-Máx	Média ± DP	Mediana	Mín-Máx	Média ± DP	Mediana	Mín-Máx
PUI	16	Comprimento total	5.64 ± 2.60	5.13	3.46-14.36	5.36 ± 2.52	4.87	3.27-13.95	95.03 ± 4.55	95.94	84.14-99.98
		Terço apical	1.18 ± 0.45	1.05	0.84-2.65	1.05 ± 0.43	0.93	0.79-2.61	89.52 ± 11.44	93.42	57.81-99.24
UL	16	Comprimento total	5.01 ± 1.37	4.61	3.74-9.00	4.81 ± 1.29	4.35	3.60-8.57	96.18 ± 3.65	97.23	89.78-100.00
		Terço apical	1.11 ± 1.06	1.06	0.82-1.51	1.03 ± 0.29	0.97	0.55-1.50	91.38 ± 12.97	96.53	52.60-100.00
LEN	16	Comprimento total	5.39 ± 1.89	4.62	3.61-9.71	4.90 ± 1.61	4.35	3.03-8.56	91.69 ± 9.58	95.07	67.11-99.48
		Terço apical	1.17 ± 0.32	1.06	0.75-1.66	1.02 ± 0.28	0.98	0.64-1.56	88.99 ± 13.82	93.94	44.22-98.80
EA	16	Comprimento total	4.99 ± 0.95	4.67	3.84-7.20	4.56 ± 1.02	4.41	3.01-6.98	91.49 ± 10.92	95.55	65.44-99.85
		Terço apical	1.09 ± 0.13	1.06	0.85-1.38	0.98 ± 0.18	0.95	0.74-1.33	89.37 ± 10.16	93.70	72.24-100.00
TOTAL	64	Comprimento total	5.26 ± 1.79	4.77	3.46-14.36	4.91 ± 1.69	4.42	3.01-13.95	93.60 ± 7.92	95.66	65.44-100.00
		Terço apical	1.14 ± 0.30	1.05	0.75-2.65	1.02 ± 0.30	0.96	0.55-2.61	89.81 ± 11.92	94.57	44.22-100.00

Tabela 3: Resultado percentual dos *voids*, espaços do canal radicular não preenchidos pela pasta de Ca(OH)₂

Técnica de Inserção (grupo)	n	Nível	Média ± DP	Mediana	Mín-Máx
PUI	16	Comprimento total	4.97 ± 4.55	4.07	0.02-14.86
		Terço apical	10.48 ± 11.44	6.58	0.76-42.19
UL	16	Comprimento total	3.82 ± 3.65	2.78	0.00-10.22
		Terço apical	8.62 ± 12.97	3.47	0.00-47.40
LEN	16	Comprimento total	8.31 ± 9.58	4.93	0.52-32.89
		Terço apical	11.02 ± 13.82	6.07	1.20-55.78
EA	16	Comprimento total	8.51 ± 10.92	4.45	0.15-34.56
		Terço apical	10.63 ± 10.16	6.30	0.00-27.76
TOTAL	64	Comprimento total	6.40 ± 7.92	4.34	0.00-34.56
		Terço apical	10.19 ± 11.92	5.44	0.00-55.78

Tabela 4: Resultado percentual dos *gaps*, lacunas de interface existentes entre parede dentinária e pasta de Ca(OH)₂

Técnica de Inserção (grupo)	n	Nível	Média ± DP	Mediana	Mín-Máx
PUI	16	Comprimento total	3.90 ± 3.28	3.44	0.01-12.74
		Terço apical	8.57 ± 7.32	7.77	0.00-27.19
UL	16	Comprimento total	2.65 ± 3.24	1.33	0.00-10.66
		Terço apical	7.11 ± 11.01	0.92	0.00-33.97
LEN	16	Comprimento total	7.49 ± 12.33	2.10	0.02-49.07
		Terço apical	5.84 ± 8.70	1.36	0.00-29.66
EA	16	Comprimento total	7.72 ± 16.61	2.20	0.00-68.55
		Terço apical	10.62 ± 13.92	6.13	0.00-54.41
TOTAL	64	Comprimento total	5.44 ± 10.58	2.20	0.00-68.55
		Terço apical	8.03 ± 10.44	3.16	0.00-54.41

6. DISCUSSÃO

O tratamento endodôntico é essencialmente direcionado para o controle e/ou prevenção das infecções pulpares e perirradiculares e busca eliminar seus agentes etiológicos primários (bactérias e seus subprodutos) para que o sucesso do tratamento seja alcançado (SIQUEIRA & LOPES, 1999).

A maioria das bactérias infectantes, seus substratos e restos de polpa necrótica são facilmente removidos pelo PQM (GOMES *et al.*, 2002; SAKAMOTO *et al.*, 2007); mas podem sobreviver no interior do SCR, em espaços intocados (BYSTRÖM & SUNDQVIST, 1981; GOMES *et al.*, 2006; ALVES *et al.*, 2011). O uso de uma MIC complementa o PQM, buscando reduzir a microbiota endodôntica, favorecendo o reparo dos tecidos perirradiculares (SIQUEIRA & UZEDA, 1997). A MIC de primeira escolha na endodontia são as pastas à base de Ca(OH)_2 , devido a sua eficácia antimicrobiana (ORSTAVIK *et al.*, 1991; SIQUEIRA & LOPES, 1999). O efeito letal do hidróxido de cálcio nas células bacterianas ocorre por contato direto (BYSTRÖM *et al.*, 1985; GEORGOPOULOU *et al.*, 1993), sendo ideal que a pasta de hidróxido de cálcio preencha todo o espaço do canal radicular, independentemente do veículo utilizado (GOMES *et al.*, 2003).

Considerando a necessidade do preenchimento completo do canal radicular pela MIC, avaliamos quatro técnicas diferentes de inserção de pasta de hidróxido de cálcio através de uma análise 3D, utilizando as imagens geradas pela microtomografia computadorizada e os dados produzidos pelo *software ImageJ*. A μCT consolida-se, hoje, como um dos métodos mais precisos de análises morfológicas e volumétricas do SCR (SWAIN & XUE, 2009), nos possibilitando realizar reconstruções 3D com alta precisão e utilizar ferramentas de manipulação e aprimoramento de imagens (*softwares*), correlacionando registros obtidos antes e após o PQM e a inserção da

MIC. Esse é um aspecto metodológico que merece destaque e se torna um diferencial em comparação a outros estudos, uma vez que, por ser altamente sensível, preciso e ainda preservar o espécime, permite uma análise quantitativa (e não só qualitativa) dos vazios encontrados e dos *gaps* produzidos pela inserção/ agitação da medicação intracanal; no entanto, ainda não foi utilizado por outros pesquisadores para tais avaliações. Diversos estudos analisaram espaços não preenchidos pela MIC através de imagens radiográficas bidimensionais, seja por análises qualitativas baseadas em presença ou ausência de bolhas e pontuadas por *scores* seja por mensuração da densidade do preenchimento (avaliação do cinza) (SIGURDSSON *et al.*, 1992; STAEHLE *et al.*, 1997; DEVEAUX *et al.*, 2000; OZTAN *et al.*, 2002; ESTRELA *et al.*, 2002; TORRES *et al.*, 2004; PETERS *et al.*, 2005; SIMCOCK & HICKS, 2006; GIBSON *et al.*, 2008; TAN *et al.*, 2013; SMUTHKEEREE *et al.*, 2015; GALVÃO *et al.*, 2017; SHARIFI *et al.*, 2019).

No presente estudo, optamos pela padronização da dilatação apical dos canais em 0,40 mm (R40), considerada adequada para o recebimento de um volume ideal de pasta medicamentosa de acordo com os estudos de PETERS *et al.* (2005) e SIMCOCK & HICKS (2006).

Para a análise de lacunas de interface (*gaps*), não encontramos na literatura estudos que tenham realizado essa investigação para que possamos confrontá-los, muito provavelmente porque há necessidade de utilizar imagens 3D e ferramentas mais avançadas, como *softwares*, para que se possa gerar, de maneira automatizada e precisa, essa delimitação e sua quantificação. O uso da μ CT, a reconstrução de suas imagens e a complementação por uso de *softwares* nos possibilitou correlacionar os valores de *voxels* estáticos das bordas das paredes dentinárias e dos espaços vazios gerados pelas técnicas de inserção do $\text{Ca}(\text{OH})_2$. E, ao analisar esse percentual de *gaps*, sua ausência demonstra a possibilidade do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ exercer sua função

antimicrobiana, uma vez que seu mecanismo de ação depende de uma atuação por contato nessas paredes. Nossos resultados demonstram que as técnicas analisadas são satisfatórias para promoverem o contato da MIC nas paredes dentinárias, com médias de áreas não tocadas inferiores a 6% para CA total e cerca de 8% para a zona crítica apical.

Entre as quatro técnicas investigadas, ao analisar os *voids* deixados pelo Ca(OH)_2 em todo o CA, o grupo que apresentou maior volume de preenchimento (e, conseqüentemente, menor volume de *voids*) foi aquele que utilizou o *kit* com seringa e agulha próprios do UltraCal[®] XS (grupo UL), seguidos pelos grupos PUI, LEN e EA. Para o grupo UL, a média de preenchimento dos canais pela MIC foi superior a 96%, valor mais elevado aos encontrados por SIGURDSSON *et al.* (1992) e SMUTHKEEREE *et al.* (2015). Para o grupo LEN, a média de preenchimento dos canais foi superior a 91%, também mais elevada que aquelas encontradas por SIGURDSSON *et al.* (1992), SMUTHKEEREE *et al.* (2015) e GALVÃO *et al.* (2017), mas similar ao encontrado por ESTRELA *et al.* (2002). Médias também superiores a 91% de preenchimento foram encontradas para o grupo EA e 95% para o grupo PUI, contrapondo tanto os achados de GALVÃO *et al.* (2017), que desencorajavam o uso do EndoActivator por acreditar que a agitação sônica favorecia o desalojamento da medicação e não favorecia o preenchimento, quanto os achados de DEVEAUX *et al.*, 2000, que também associavam as vibrações sônicas e ultrassônicas com o rompimento e dispersão da pasta de Ca(OH)_2 ao invés de torná-la mais densa. A diferença nos valores encontrados comparada a outros estudos pode ser dada tanto pela metodologia minuciosa empregada, com associação da técnica de inserção à tomada radiográfica, quanto pela análise tridimensional proporcionada pela utilização da μCT , método altamente sensível e preciso, e, muito provavelmente, pela associação das duas hipóteses. Embora as médias dos preenchimentos dos canais

tenham sido, na zona crítica apical, próximos a 90% e superiores a esses valores no CA total, o preenchimento completo, sem espaços vazios, somente foi observado em um caso no comprimento total de análise de toda a amostra (grupo UL).

Na zona crítica apical (4mm apicais), os preenchimentos mais significativos também ocorreram no grupo UL (média superior a 91%), mas na sequência observamos os grupos PUI (cerca de 89,5%), EA (89,4%) e LEN (89%). A análise quantitativa mostrou que o terço apical apresentou maior dificuldade em ser preenchido por completo e um maior volume de espaços vazios quando comparado ao CA total, corroborando os relatos anteriores de DEVEAUX *et al.* (2000) e SHARIFI *et al.* (2019). Independente da técnica de inserção, a maior dificuldade de preenchimento na porção apical pode ser explicada pela dificuldade em levar a pasta para esta região do canal, que é mais distante do terço cervical, mais estreita e onde devemos ter cuidado em controlar os riscos do avanço do instrumento em toda sua extensão e prevenir o extravasamento de material para os tecidos perirradiculares, o que poderá causar uma possível irritação nessa região.

A ausência de resultados com diferenças estatisticamente significativas entre a inserção por espirais Lentulo e a técnica de entrega por seringa corrobora os estudos anteriores de TORRES *et al.* (2004), PETERS *et al.* (2005), SIMCOCK & HICKS (2006) e SMUTHKEEREE *et al.* (2015), mas contraria os achados de SIGURDSSON *et al.* (1992) e GIBSON *et al.* (2008), que demonstraram diferenças estatísticas significativas entre o preenchimento proporcionado por esses instrumentos, com resultados superiores, respectivamente, para o espiral Lentulo e entrega por seringa. Ainda nessa direção, nossos resultados contradizem aqueles de DEVEAUX *et al.* (2000) e GALVÃO *et al.* (2017) que não indicam o uso de instrumentos de agitação ultrassônicos e sônicos, por apresentarem resultados de preenchimento inferiores, com diferenças significativas, quando comparados ao uso do espiral Lentulo. Nossos

achados demonstram não haver diferença estatística significativa entre esses instrumentos, sendo todos eles capazes de promover um preenchimento do canal radicular satisfatório.

7. CONCLUSÕES

- As técnicas de inserção não diferiram significativamente quanto ao preenchimento do canal pela pasta de Ca(OH)_2 nem quanto à área de parede não tocada pela MIC, em nenhum dos níveis avaliados (CA total e zona crítica apical).
- Todas as técnicas analisadas proporcionaram um preenchimento satisfatório do canal radicular (acima de 90%), com poucas áreas de paredes dentinárias não tocadas pela MIC (inferiores a 8%).
- Independentemente da técnica de preenchimento, houve uma maior média da presença de *voids* na zona crítica apical, se comparada ao CA total.
- Em 6,25% dos casos houve ausência de *gaps* em todo o CA e, em aproximadamente 19% dos casos, na zona crítica apical.
- O preenchimento completo do canal radicular foi alcançado somente em um espécime analisado, do grupo UL. Na zona crítica apical, as técnicas utilizadas nos grupos UL e EA permitiram um preenchimento sem vazios, em aproximadamente 8% da amostra.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adib V, Spratt D, Ng YL, Gulabivala K (2004). Cultivable microbial flora associated with persistent periapical disease and coronal leakage after root canal treatment: a preliminary study. *Int Endod J.* 37 (8), 542-51.

Alves FR, Almeida BM, Neves MA, Moreno JO, Rôças IN, Siqueira JF Jr (2011). Disinfecting oval-shaped root canals: effectiveness of different supplementary approaches. *J Endod.* 37 (4), 496-501.

Arias MP, Maliza AG, Miedena RZ, Graeff MS, Duarte MA, Andrade FB (2016). Effect of ultrasonic streaming on intra-dental disinfection and penetration of calcium hydroxide paste in endodontic treatment. *J Appl Oral Sci.* 24 (6), 575-581.

Aydın ZU, Keskin NB, Özyürek T, Geneci F, Ocağ M, Çelik HH (2019). Microcomputed Assessment of Transportation, Centering Ratio, Canal Area, and Volume Increase after Single-file Rotary and Reciprocating Glide Path Instrumentation in Curved Root Canals: A Laboratory Study. *J Endod.* 45 (6), 791-796.

Barbosa CA, Gonçalves RB, Siqueira JF Jr, De Uzeda M (1997). Evaluation of the antibacterial activities of calcium hydroxide, chlorhexidine, and camphorated paramonochlorophenol as intracanal medicament. A clinical and laboratory study. *J Endod.* 23 (5), 297-300.

Basrani, B., Tjäderhane, L., Santos, J. M., Pascon, E., Grad, H., Lawrence, H. P., & Friedman, S. (2003). Efficacy of chlorhexidine-and calcium hydroxide-containing medicaments against *Enterococcus faecalis* in vitro. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 96(5), 618-624.

Bawazir OA, Salama FS (2006). Clinical evaluation of root canal obturation methods in primary teeth. *Pediatr Dent.* 28 (1), 39-47.

Bedran NR, Nadelman P, Magno MB, de Almeida Neves A, Ferreira DM, Braga Pintor AV, Maia LC, Primo LG (2020). Does Calcium Hydroxide Reduce Endotoxins in Infected Root Canals? Systematic Review and Meta-analysis. *J Endod.* 11: S0099-2399 (20) 30582-3.

Bjørndal L, Carlsen O, Thuesen G, Darvann T, Kreiborg S (1999). External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. *Int Endod J.* 32 (1), 3-9.

Byström A, Claesson R, Sundqvist G (1985). The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals. *Endod Dent Traumatol.* 1 (5), 170-175.

Byström A, Sundqvist, G (1981). Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res.* 89 (4), 321-328.

Davis JM, Maki J, Bahcall JK (2007). An in vitro comparison of the antimicrobial effects

- of various endodontic medicaments on *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 33 (5), 567–569.
- de Almeida Barbosa M, de Oliveira KV, Dos Santos VR, da Silva WJ, Fagundes Tomazinho FS, Baratto-Filho F, Leão Gabardo MC (2020). Effect of Vehicle and Agitation Methods on the Penetration of Calcium Hydroxide Paste in the Dentinal Tubules. *J Endod.* 46 (9), 1340-1341.
- de Freitas RP, Greatti VR, Alcalde MP, Cavenago BC, Vivan RR, Duarte MA, Weckwerth AC, Weckwerth PH (2016). Effect of the Association of Nonsteroidal Anti-inflammatory and Antibiotic Drugs on Antibiofilm Activity and pH of Calcium Hydroxide Pastes. *J Endod.* 43 (1): 131-134.
- Denna J, Shafie LA, Alsofi L, Al-Habib M, AlShwaimi E (2020). Efficacy of the Rotary Instrument XP-Endo Finisher in the Removal of Calcium Hydroxide Intracanal Medicament in Combination with Different Irrigation Techniques: A Microtomographic Study. *Materials (Basel).* 13 (10), 2222.
- Deveaux E, Dufour D, Boniface B (2000). Five methods of calcium hydroxide intracanal placement. An in vitro evaluation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 89 (3), 349–355.
- Dowker SE, Davis GR, Elliott JC (1997). X-ray microtomography: nondestructive three-dimensional imaging for in vitro endodontic studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 83 (4), 510–516.
- Estrela C, Bammann LL (1999). Efeito enzimático do hidróxido de cálcio. *Rev. ABO Nacional* (7), n. 1, 32-42.
- Estrela C, Estrela CR, Guimarães LF, Silva RS, Pécora JD (2005). Surface tension of calcium hydroxide associated with different substances. *J Appl Oral Sci.* 13 (2), 152-156.
- Estrela C, Holland R (2003). Calcium hydroxide: study based on scientific evidences. *J Appl Oral Sci.* 11 (4), 269-82.
- Estrela C, Mamede Neto I, Lopes HP, Estrela CR, Pécora JD (2002). Root canal filling with calcium hydroxide using different techniques. *Braz Dent J.* 13 (1), 53-6.
- Estrela C, Pimenta FC, Ito IY, Bammann LL (1999). Antimicrobial evaluation of calcium hydroxide in infected dentinal tubules. *J Endod.* 25 (6), 416-418.
- Evans M, Davies JK, Sundqvist G, Figdor D (2002). Mechanisms involved in the resistance of *Enterococcus faecalis* to calcium hydroxide. *Int Endod J.* 35 (3):22 1-8.
- Evans MD, Baumgartner JC, Khemaleelakul SU, Xia T (2003). Efficacy of calcium hydroxide: chlorhexidine paste as an intracanal medication in bovine dentin. *J Endod.* 29 (5), 338-339.
- Farhad A, Mohammadi Z (2005). Calcium hydroxide: a review. *Int Dent J.* 55 (5), 293-301.
- Fava LR, Saunders WP (1999). Calcium hydroxide pastes: classification and clinical indications. *Int Endod J.* 32 (4), 257-82.

Filizola de Oliveira DJ, Leoni GB, da Silva Goulart R, Sousa-Neto MD, Silva Sousa YTC, Silva RG (2019). Changes in Geometry and Transportation of Root Canals with Severe Curvature Prepared by Different Heat-treated Nickel-titanium Instruments: A Micro-computed Tomographic Study. *J Endod.* 45 (6), 768-773.

Foreman PC, Barnes IE (1990). A review of calcium hydroxide. *Int Endod J.* 23 (6), 283-297.

Galvão T, Camargo B, Armada L, Alves F (2017). Efficacy of three methods for inserting calcium hydroxide-based paste in root canals. *J Clin Exp Dent.* 9 (6), e762-e766.

Gandolfi MG, Parrilli AP, Fini M, Prati C, Dummer PM (2013). 3D micro-CT analysis of the interface voids associated with Thermafil root fillings used with AH Plus or a flowable MTA sealer. *Int Endod J.* 46 (3), 253-263.

Georgopoulou M, Kontakiotis E, Nakou M (1993). In vitro evaluation of the effectiveness of calcium hydroxide and paramonochlorophenol on anaerobic bacteria from the root canal. *Endod Dent Traumatol.* 9 (6), 249-253.

Gomes BP, Ferraz CC, Vianna ME, Rosalen PL, Zaia AA, Teixeira FB, Souza-Filho FJ (2002). In vitro antimicrobial activity of calcium hydroxide pastes and their vehicles against selected microorganisms. *Braz Dent J.* 13 (3), 155-161.

Gomes BP, Jacinto RC, Pinheiro ET, Sousa EL, Zaia AA, Ferraz CC, Souza-Filho FJ (2006). Molecular analysis of *Filifactor alocis*, *Tannerella forsythia*, and *treponema denticola* associated with primary endodontic infections and failed endodontic treatment. *J Endod.* 32 (10), 937-940.

Gomes BP, Souza SF, Ferraz CC, Teixeira FB, Zaia AA, Valdrighi L, Souza-Filho FJ (2003). Effectiveness of 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* in bovine root dentine in vitro. *Int Endod J.* 36 (4), 267-275.

Goodis C (1998). Why do I need a root canal? *N. M. Dent. J.* (49), n. 3, 12-13.

Haapasalo HK, Sirén EK, Waltimo TM, Ørstavik D, Haapasalo MP (2000). Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study. *Int Endod J.* 33 (2), 126-131.

Halliwell B, Gutteridge JM, Aruoma OI (1987). The deoxyribose method: a simple "test-tube" assay for determination of rate constants for reactions of hydroxyl radicals. *Analytical biochemistry*, 165 (1), 215-219.

Hammad M, Qualtrough A, Silikas N (2009). Evaluation of root canal obturation: a three-dimensional in vitro study. *J Endod.* 35 (4), 541-544.

Hasselgren G, Olsson B, Cvek M (1988). Effects of calcium hydroxide and sodium hypochlorite on the dissolution of necrotic porcine muscle tissue. *J Endod.* 14 (3), 125-127.

Hübscher W, Barbakow F, Peters OA (2003). Root-canal preparation with FlexMaster: canal shapes analysed by micro-computed tomography. *Int Endod J.* 36 (11), 740-747.

Imlay JA, Linn S (1988). DNA damage and oxygen radical toxicity. *Science*, 240

(4857), 1302-1309.

Jung M, Lommel D, Klimek J (2005). The imaging of root canal obturation using micro-CT. *Int Endod J.* 38 (9), 617-626.

Kabil E, Katić M, Anić I, Bago I (2021). Micro-computed Evaluation of Canal Transportation and Centering Ability of 5 Rotary and Reciprocating Systems with Different Metallurgical Properties and Surface Treatments in Curved Root Canals. *J Endod.* 47 (3), 477-484.

Kahn FH, Rosenberg PA, Schertzer L, Korthals G, Nguyen PN (1997). An in-vitro evaluation of sealer placement methods. *Int Endod J.* 30 (3), 181-186.

Takehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ (1965). The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 20, 340-349.

Kayaoglu G, Erten H, Bodrumlu E, Ørstavik D (2009). The resistance of collagen-associated, planktonic cells of *Enterococcus faecalis* to calcium hydroxide. *J Endod.* 35 (1): 46-9.

Keleş A, Torabinejad M, Keskin C, Sah D, Uzun İ, Alçin H (2017). Micro-CT evaluation of voids using two root filling techniques in the placement of MTA in mesial root canals of Vertucci type II configuration. *Clin Oral Investig.* 22 (5), 1907-1913.

Kontakiotis E, Nakou M, Georgopoulou M (1995). In vitro study of the indirect action of calcium hydroxide on the anaerobic flora of the root canal. *Int Endod J.* 28 (6), 285-289.

Lage-Marques JL, Conti R, Antoniazzi JH, Gutz I (1994). Avaliação da velocidade de dissociação iônica do hidróxido de cálcio associado a diferentes veículos. *Rev. Odontol. Univ. São Paulo* (8), n. 2, 81-87.

Lana, P. E. P., Scelza, M. F. Z., Silva, L. E., Mattos-Guaraldi, A. L. D., & Hirata Júnior, R. (2009). Antimicrobial activity of calcium hydroxide pastes on *Enterococcus faecalis* cultivated in root canal systems. *Brazilian Dental Journal*, 20, 32-36.

Law A, Messer H (2004). An evidence-based analysis of the antibacterial effectiveness of intracanal medicaments. *J Endod.* 30(10): 689-94.

Leonardo MR, Silveira FF, Silva LABD, Tanomaru Filho M, Utrilla LS (2002). Calcium hydroxide root canal dressing. Histopathological evaluation of periapical repair at different time periods. *Brazilian Dental Journal*, 17-22.

Li D, Jiang S, Yin X, Chang JW, Ke J, Zhang C (2015). Efficacy of Needle, Ultrasonic, and Endoactivator Irrigation and Photon-Induced Photoacoustic Streaming in Removing Calcium Hydroxide from the Main Canal and Isthmus: An In Vitro Micro-Computed Tomography and Scanning Electron Microscopy Study. *Photomed Laser Surg.* 33 (6), 330-7.

Lima RKP, Guerreiro-Tanomaru JM, Faria-Júnior NB, Tanomaru-Filho M (2012). Effectiveness of calcium hydroxide-based intracanal medicaments against

- Enterococcus faecalis. *Int Endod J.* 45 (4), 311-316.
- Lin S, Tsesis I, Zukerman O, Weiss EI, Fuss Z (2005). Effect of electrophoretically activated calcium hydroxide on bacterial viability in dentinal tubules--in vitro. *Dent Traumatol.* 21 (1), 42-45.
- Lloyd A, Navarrete G, Marchesan MA, Clement D (2016). Removal of calcium hydroxide from Weine Type II systems using photon-induced photoacoustic streaming, passive ultrasonic, and needle irrigation: a microcomputed tomography study. *J Appl Oral Sci.* 24 (6), 543-548.
- Markvart M, Darvann TA, Larsen P, Dalstra M, Kreiborg S, Bjørndal L (2012). Micro-CT analyses of apical enlargement and molar root canal complexity. *Int Endod J.* 45 (3), 273-281.
- Martin DM (1979). Irrigation and medication of the root canal. *J Br Endod Soc.* 12 Suppl: 55-64.
- Menezes MM, Valera MC, Jorge AO, Koga-Ito CY, Camargo CH, Mancini MN (2004). In vitro evaluation of the effectiveness of irrigants and intracanal medicaments on microorganisms within root canals. *Int Endod J.* 37 (5), 311-9.
- Metzger Z, Solomonov M, Kfir A (2013). The role of mechanical instrumentation in the cleaning of root canals. *Endodontic Topics*, 29, 87–109.
- Metzger Z, Zary R, Cohen R, Teperovich E, Paqué F (2010). The quality of root canal preparation and root canal obturation in canals treated with rotary versus self-adjusting files: a three-dimensional micro-computed tomographic study. *J Endod.* 36 (9), 1569-73.
- Metzler RS, Montgomery S (1989). Effectiveness of ultrasonics and calcium hydroxide for the debridement of human mandibular molars. *J Endod.* 15 (8), 373-8.
- Milanovic I, Milovanovic P, Antonijevic D, Dzeletovic B, Djuric M, Miletic V (2020). Immediate and Long-Term Porosity of Calcium Silicate-Based Sealers. *J Endod.* 46 (4), 515-523.
- Miller WD (1894). An introduction to the study of the bacterio-pathology of the dental pulp.pdf. *Dental Cosmos*, 36, 505–528.
- Mohammadi Z, Shalavi S, Yazdizadeh M (2012). Antimicrobial activity of calcium hydroxide in endodontics: a review. *Chonnam Med J.* 48 (3), 133-40.
- Mokeem-Saleh A, Hammad M, Silikas N, Qualtrough A, Watts DC (2010). A laboratory evaluation of the physical and mechanical properties of selected root canal sealers. *Int Endod J.* 43 (10), 882-888.
- Molander A, Reit C, Dahlén G, Kvist T (1998). Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *Int Endod J.* 31 (1), 1-7.
- Moller, Å. J., Fabricius, L., Dahlen, G., Öhman, AE, & Heyden, GUY (1981). Influência nos tecidos periapicais de bactérias orais indígenas e tecido pulpar necrótico em macacos. *European Journal of Oral Sciences* , 89 (6), 475-484.

- Naseri M, Kangarlou A, Khavid A, Goodini M (2013). Evaluation of the quality of four root canal obturation techniques using micro-computed tomography. *Iran Endod J.* 8 (3), 89-93.
- Neelakantan P, Subbarao C, Subbarao CV (2007). Duration-dependent susceptibility of endodontic pathogens to calcium hydroxide and chlorhexidine gel used as intracanal medicament: an in vitro evaluation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 104 (4), e138-e141.
- Neelakantan P, Subbarao C, Subbarao CV (2010). Comparative evaluation of modified canal staining and clearing technique, cone-beam computed tomography, peripheral quantitative computed tomography, spiral computed tomography, and plain and contrast medium-enhanced digital radiography in studying root canal morphology. *J Endod.* 36 (9), 1547-1551.
- Nerwich A, Figdor D, Messer HH (1993). pH changes in root dentin over a 4-week period following root canal dressing with calcium hydroxide. *J Endod.* 19 (6), 302-306.
- Neves MAS, Provenzano JC, Fonseca SCL, Rodrigues RCV, Gonçalves LS, Siqueira JF Jr, Rôças IN (2020). Disinfection and outcome of root canal treatment using single-file or multifele systems and Ca(OH)₂ medication. *Braz Dent J.* 31 (5), 493-498.
- Nielsen RB, Alyassin AM, Peters DD, Carnes DL, Lancaster J (1995). Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. *J Endod.* 21 (11), 561-568.
- Oliveira LD, Carvalho CA, Carvalho AS, Alves Jde S, Valera MC, Jorge AO (2012). Efficacy of endodontic treatment for endotoxin reduction in primarily infected root canals and evaluation of cytotoxic effects. *J Endod.* 38(8):1053-7.
- Ørstavik D, Haapasalo M (1990). Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Dental Traumatology*, 6 (4), 142-149.
- Ørstavik D, Kerekes K, Molven O (1991). Effects of extensive apical reaming and calcium hydroxide dressing on bacterial infection during treatment of apical periodontitis: a pilot study. *International Endodontic Journal*, 24 (1), 1-7.
- Oztan MD, Akman A, Dalat D (2002). Intracanal placement of calcium hydroxide: a comparison of two different mixtures and carriers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 94 (1), 93-97.
- Padan E, Zilberstein D, Schuldiner S (1981). pH homeostasis in bacteria. *BBA - Reviews on Biomembranes*, 650 (2-3), 151-166.
- Peters CI, Koka RS, Highsmith S, Peters OA (2005). Calcium hydroxide dressings using different preparation and application modes: density and dissolution by simulated tissue pressure. *Int Endod J.* 38 (12), 889-895.
- Peters OA, Laib A, Rügsegger P, Barbakow F (2000). Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *J Dent Res.* 79 (6), 1405-1409.
- Portenier I, Waltimo TM, Haapasalo M (2003). *Enterococcus faecalis*—the root canal survivor and ‘star’ in post-treatment disease. *Endodontic topics*, 6 (1), 135-159.

- Rahde Nde M, Figueiredo JA, Oliveira EP (2006). Influence of calcium hydroxide points on the quality of intracanal dressing filling. *J Appl Oral Sci.* 14 (3), 219-223.
- Reis ACS, Maranhão LAM, Moura LA, Maranhão KM.(2018). Nova tendência da medicação intracanal para atuação sobre *Enterococcus faecalis*: revisão de literatura. *Braz. J. Surg. Clin. Res.* 24 (1), 115-121.
- Rhodes JS, Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV (1999). Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J.* 32 (3), 165-170.
- Ricucci D, Siqueira JF Jr (2010). Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod.* 36 (8), 1277-1288.
- Rôças IN, Siqueira JF Jr (2011). In vivo antimicrobial effects of endodontic treatment procedures as assessed by molecular microbiologic techniques. *J Endod.* 37(3): 304-10.
- Rôças IN, Siqueira JF Jr, Santos KR, Coelho AM (2001). "Red complex" (*Bacteroides forsythus*, *Porphyromonas gingivalis*, and *Treponema denticola*) in endodontic infections: a molecular approach. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 91 (4), 468-471.
- Ruddle CJ (2009). Endodontic advancements: game-changing technologies. *Dent Today.* 28 (11), 82-84.
- Safavi KE, Spngberg, L. S., & Langeland, K. (1990). Root canal dentinal tubule disinfection. *Journal of endodontics*, 16(5), 207-210.
- Sakamoto M, Siqueira JF Jr, Rôças IN, Benno Y (2007). Bacterial reduction and persistence after endodontic treatment procedures. *Oral Microbiol Immunol.* 22 (1), 19-23.
- Sharifi, R., Bahrampour, E., Janfroozzade, P., Safaei, M., Mozaffari, H. R., Soltanimehr, E., ... & Imani, M. M. (2019). Comparative evaluation of the efficacy of three methods of delivering calcium hydroxide into the root canal. *Dental and Medical Problems*, 56(2), 155-159.
- Signoretto FGC, de Almeida Gomes BPF, Montagner F, Tosello FB, Jacinto RC (2011). Influence of 2% chlorhexidine gel on calcium hydroxide ionic dissociation and its ability of reducing endotoxin. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 111 (5), 653-658.
- Sigurdsson A, Stancill R, Madison S (1992). Intracanal placement of Ca(OH)₂: a comparison of techniques. *J Endod.* 18 (8), 367-370.
- Silva LJ, Pessoa OF, Teixeira MB, Gouveia CH, Braga RR (2015). Micro-CT evaluation of calcium hydroxide removal through passive ultrasonic irrigation associated with or without an additional instrument. *Int Endod J.* 48 (8), 768-73.
- Silveira AM, Lopes HP, Siqueira JF Jr, Macedo SB, Consolaro A (2007). Periradicular repair after two-visit endodontic treatment using two different intracanal medications compared to single-visit endodontic treatment. *Braz Dent J.* 18(4): 299-304.
- Simcock RM, Hicks ML (2006). Delivery of calcium hydroxide: comparison of four filling

techniques. *J Endod.* 32 (7), 680-682.

Simon ST, Bhat KS, Francis R (1995). Effect of four vehicles on the pH of calcium hydroxide and the release of calcium ion. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* (80), n. 4, 459-464.

Siqueira JF Jr (2001). Strategies to treat infected root canals. *J Calif Dent Assoc.* 29 (12), 825-37.

Siqueira JF Jr (2002). Endodontic infections: concepts, paradigms, and perspectives. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 94 (3), 281-93.

Siqueira JF Jr (2011). Princípios biológicos do tratamento endodôntico de dentes com polpa viva. *Revista Brasileira de Odontologia*, 68 (2), p. 161–165.

Siqueira JF Jr, de Uzeda M (1996). Disinfection by calcium hydroxide pastes of dentinal tubules infected with two obligate and one facultative anaerobic bacteria. *J Endod.* 22 (12), 674-676.

Siqueira JF Jr, de Uzeda M (1997). Intracanal medicaments: evaluation of the antibacterial effects of chlorhexidine, metronidazole, and calcium hydroxide associated with three vehicles. *J Endod.* 23 (3)1, 67-69.

Siqueira JF Jr, de Uzeda M (1998). Influence of different vehicles on the antibacterial effects of calcium hydroxide. *J Endod.* 24 (10), 663-665.

Siqueira JF Jr, Guimarães-Pinto T, Rôças IN (2007-b). Effects of chemomechanical preparation with 2.5% sodium hypochlorite and intracanal medication with calcium hydroxide on cultivable bacteria in infected root canals. *J Endod* 33 (7): 800–5.

Siqueira JF Jr, Lopes HP (1999). Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. *Int Endod J.* 32 (5), 361-369.

Siqueira JF Jr, Magalhães KM, Rôças IN (2007-a). Bacterial reduction in infected root canals treated with 2.5% NaOCl as an irrigant and calcium hydroxide/camphorated paramonochlorophenol paste as an intracanal dressing. *J Endod.* 33 (6): 667-72.

Siqueira JF Jr, Rôças IN (2007). Bacterial pathogenesis and mediators in apical periodontitis. *Braz Dent J.* 18 (4), 267-280.

Siqueira JF Jr, Rôças IN (2008). Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod.* 34 (11), 1291-1301.e3.

Siqueira JF Jr, Rôças IN (2014). Present status and future directions in endodontic microbiology. *Endodontic Topics*, 30 (1), 3–22.

Siqueira JF Jr, Rôças IN, Alves FR, Santos KR (2004). Selected endodontic pathogens in the apical third of infected root canals: a molecular investigation. *J Endod.* 30 (9), 638-643.

Siqueira Jr, JF, de Uzeda, M. (1996). Disinfection by calcium hydroxide pastes of dentinal tubules infected with two obligate and one facultative anaerobic bacteria. *Journal of endodontics*, 22(12), 674-676.

Sjögren, U., Figdor, D., Spångberg, L., & Sundqvist, G. (1991). The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *International endodontic journal*, 24(3), 119-125.

Smutkeeree A, Phajongviriyatorn P, Komoltri C, Jantararat J (2015). Calcium hydroxide medication in primary molars using different preparations and placement techniques: an in vitro study. *Eur Arch Paediatr Dent*. 16 (4), 313-318.

Soares JA, Leonardo MR, Silva LA, Tanomaru Filho M, Ito IY (2005). Effect of biomechanical preparation and calcium hydroxide pastes on the antisepsis of root canal systems in dogs. *J Appl Oral Sci*. 13 (1), 93-100.

Staeble HJ, Thomä C, Müller HP (1997). Comparative in vitro investigation of different methods for temporary root canal filling with aqueous suspensions of calcium hydroxide. *Endod Dent Traumatol*. 13 (3), 106-112.

Sundqvist G (1976). Bacteriological studies of necrotic dental pulps. *Dissertação Odontol nº 7*, Univ de Umea, Suécia.

Sundqvist G (1994). Taxonomy, ecology, and pathogenicity of the root canal flora. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 78 (4), 522-530.

Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjögren U (1998). Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 85 (1), 86-93.

Swain MV, Xue J (2009). State of the art of Micro-CT applications in dental research. *Int J Oral Sci*. 1 (4), 177-188.

Tan JM, Parolia A, Pau AK (2013). Intracanal placement of calcium hydroxide: a comparison of specially designed paste carrier technique with other techniques. *BMC Oral Health*. 7, 13-52.

Torres CP, Apicella MJ, Yancich PP, Parker MH (2004). Intracanal placement of calcium hydroxide: a comparison of techniques, revisited. *J Endod*. 30 (4), 225-227.

Tronstad, L. (1988). Root resorption—etiology, terminology and clinical manifestations. *Dental Traumatology*, 4(6), 241-252.

Valera MC, de Moraes Rego J, Jorge AO (2001). Effect of sodium hypochlorite and five intracanal medications on *Candida albicans* in root canals. *J Endod*. 27(6): 401-3.

Verma P, Love RM (2011). A Micro CT study of the mesiobuccal root canal morphology of the maxillary first molar tooth. *Int Endod J*. 44 (3), 210-217.

Versiani MA, Pécora JD, de Sousa-Neto MD (2011). Flat-oval root canal preparation with self-adjusting file instrument: a micro-computed tomography study. *J Endod*. 37 (7), 1002-1007.

Vianna ME, Zilio DM, Ferraz CC, Zaia AA, de Souza-Filho FJ, Gomes BP (2009). Concentration of hydrogen ions in several calcium hydroxide pastes over different periods of time. *Braz Dent J*. 20 (5), 382-388.

Vieira, A. R., Siqueira Jr, J. F., Ricucci, D., & Lopes, W. S. (2012). Dentinal tubule

infection as the cause of recurrent disease and late endodontic treatment failure: a case report. *Journal of endodontics*, 38(2), 250-254.

Wiseman A, Cox TC, Paranjpe A, Flake NM, Cohenca N, Johnson JD (2011). Efficacy of sonic and ultrasonic activation for removal of calcium hydroxide from mesial canals of mandibular molars: a microtomographic study. *J Endod.* 37 (2), 235-8.

Zancan RF, Vivian RR, Milanda Lopes MR, Weckwerth PH, de Andrade FB, Ponce JB, Duarte MA (2016). Antimicrobial Activity and Physicochemical Properties of Calcium Hydroxide Pastes Used as Intracanal Medication. *J Endod.* 42 (12): 1822-1828.

Zhang D, Chen J, Lan G, Li M, An J, Wen X, Liu L, Deng M (2017). The root canal morphology in mandibular first premolars: a comparative evaluation of cone-beam computed tomography and micro-computed tomography. *Clin Oral Investig.* 21 (4), 1007-1012.

Zogheib C, Naaman A, Sigurdsson A, Medioni E, Bourbouze G, Arbab-Chirani R (2013). Comparative micro-computed tomographic evaluation of two carrier-based obturation systems. *Clin Oral Investig.* 17 (8), 1879-1883.