AVALIAÇÃO DA ANATOMIA INTERNA E DA QUALIDADE DO PREPARO DE CANAIS DISTAIS ACHATADOS DE MOLARES INFERIORES PELA TÉCNICA DE MICROTOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE RAIOS X

Flaviana Lais Pereira dos Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Nuclear.

Orientadores: Davi Ferreira de Oliveira
Alessandra Silveira Machado

Rio de Janeiro
Dezembro de 2025

AVALIAÇÃO DA ANATOMIA INTERNA E DA QUALIDADE DO PREPARO DE CANAIS DISTAIS ACHATADOS DE MOLARES INFERIORES PELA TÉCNICA DE MICROTOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE RAIOS X

Flaviana Lais Pereira dos Santos

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA NUCLEAR.

Orientadores: Davi Ferreira de Oliveira
Alessandra Silveira Machado

Aprovada por: D.Sc. Davi Ferreira de Oliveira
D.Sc. Alessandra Silveira Machado
D.Sc. Carolina Oliveira de Lima
D.Sc. Caio Márcio Sorrentino de Freitas Farias dos Santos

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
DEZEMBRO DE 2025

Santos, Flaviana Lais Pereira

Avaliação da anatomia interna e da qualidade do preparo de canais distais achatados de molares inferiores pela técnica de microtomografia computadorizada de raios X / Flaviana Lais Pereira dos Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2025.

XIII, 66 p.: il.; 29,7cm.

Orientadores: Davi Ferreira de Oliveira

Alessandra Silveira Machado

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Nuclear, 2025.

Referências Bibliográficas: p. 60 – 73.

1. Anatomia interna. 2.Canal radicular distal. 3. Molares mandibulares. 4. Microtomografia Computadorizada.

I. Oliveira, Davi Ferreira de *et al*. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Nuclear. III. avaliação da anatomia interna e da qualidade do preparo de canais distais achatados de molares inferiores pela técnica de microtomografia computadorizada de raios x.

Dedico a minha maior incentivadora e melhor professora: minha mãe, Creuza (in memoriam). Você é luz que guia o meu caminho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, causa primária e inteligência suprema de todas as coisas. Minha gratidão por guiar e iluminar cada passo da minha trajetória.

Aos meus pais (in memoriam), pelo dom da vida. Em especial a minha mãe, pelos ensinamentos, pela inspiração como professora exemplar e por tudo o que fez por mim. Sei que continua guiando meus caminhos e permanecendo ao meu lado.

Ao meu noivo, Chrismael Ramos, por todo apoio, incentivo e amor. Obrigada por estar sempre comigo e por me mostrar que sou capaz de alcançar tudo o que desejo.

Às minhas irmãs, Luana, Larissa e Lyvia, pelo amor incondicional, união e apoio constante. Vocês são parte de mim, e saber que estão ao meu lado fortalece minha caminhada.

À minha afilhada Thais, por ser luz na minha vida e por seu amor inesgotável.

À minha família, especialmente à tia Sônia e à minha avó Raimunda, pelo amor, força e orações ao longo de toda a jornada. Vocês são exemplos de fé e superação. Eu amo vocês!

À Alessandra e Davi, pela paciência, confiança e por acreditarem que tudo seria possível. Muito obrigada!

A todos os professores, funcionários e alunos do Laboratório de Instrumentação Nuclear (LIN) pelo carinho e dedicação ao trabalho. Em especial, agradeço à Aninha, por ser minha ouvinte e por suas palavras sempre positivas.

À minha amiga Manú, pelo apoio, ajuda e por uma amizade que é um verdadeiro presente.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro concedido por meio da bolsa de mestrado.

Por fim, meu agradecimento a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu me tornasse quem sou hoje. Cada pessoa deixou um pouco de si em meu caminho, permitindo meu crescimento pessoal e humano.

Gratidão!

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DA ANATOMIA INTERNA E DA QUALIDADE DO PREPARO DE CANAIS DISTAIS ACHATADOS DE MOLARES INFERIORES PELA TÉCNICA DE MICROTOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA DE RAIOS X

Flaviana Lais Pereira dos Santos

Dezembro/2025

Orientadores: Davi Ferreira de Oliveira

Alessandra Silveira Machado

Programa: Engenharia Nuclear

A complexidade anatômica do sistema de canais radiculares representa um dos principiais desafios da prática endodôntica. Este trabalho teve como objetivo estudar a anatomia interna de molares inferiores e a qualidade do preparo de canais distais com morfologia achatada. A técnica de microtomografia computadorizada foi utilizada, possibilitando a caracterização tridimensional detalhada dos canais radiculares, sua classificação segundo Vertucci e a mensuração de parâmetros como comprimento radicular e forma do canal. A capacidade de modelagem do sistema Reciproc Blue (VDW) foi avaliada pela comparação entre os volumes pré e pós-instrumentação, considerando área não tocada, *Structure Model Index* (SMI) e volume de *debris*. O fluxo metodológico envolveu a padronização de reconstrução, definição rigorosa de região e volume de interesse, segmentação binária do canal radicular e análises morfométricas no programa CTAn. Os resultados mostraram a predominância do tipo I de Vertucci (78%), seguido do tipo III (10%). A forma oval foi a mais frequente nos níveis avaliados (49% - 65%), seguida da forma oval longa (15% - 35%), enquanto as morfologias circular (8% - 15%) e achatada (1% - 18%) ocorreram com menor frequência.O comprimento médio das raízes distais foi de 12,36 mm (± 1,715). A instrumentação promoveu aumento significativo do volume do canal ($t = 5,81$; $p = 0,0007$), redução do volume de *debris* ($t = –2,54$; $p = 0,038$) e tendência de regularização geométrica evidenciada pelo aumento do SMI. Contudo, áreas não tocadas permaneceram, refletindo os desafios impostos pela morfologia achatada. Os achados reforçam a utilidade da microCT em estudos endodônticos e demonstram que o sistema Reciproc Blue apresenta desempenho satisfatório, embora limitado em regiões de complexidade anatômica elevada.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

EVALUATION OF THE INTERNAL ANATOMY AND THE QUALITY OF SHAPING OF FLATTENED DISTAL CANALS OF MANDIBULAR MOLARS USING X-RAY MICROCOMPUTED TOMOGRAPHY

Flaviana Lais Pereira dos Santos

December/2025

Advisors: Davi Ferreira de Oliveira

Alessandra Silveira Machado

Department: Nuclear Engineering

The anatomical complexity of the root canal system represents one of the main challenges in endodontic practice. This study aimed to investigate the internal anatomy of mandibular molars and the quality of root canal preparation in distal canals with flattened morphology. Computed microtomography was used, enabling detailed three-dimensional characterization of the root canals, their classification according to Vertucci, and the measurement of parameters such as root length and canal shape. The shaping ability of the Reciproc Blue system (VDW) was assessed by comparing pre- and post-instrumentation volumes, considering untouched canal areas, Structure Model Index (SMI), and debris volume. The methodological workflow involved standardized reconstruction, rigorous definition of the region and volume of interest, binary segmentation of the root canal, and morphometric analyses using CTAn software. The results showed a predominance of Vertucci type I configuration (78%), followed by type III (10%). The oval shape was the most frequent at the evaluated levels (49%–65%), followed by the long oval shape (15%–35%), whereas circular (8%–15%) and flattened (1%–18%) morphologies occurred less frequently. The mean length of distal roots was 12.36 mm (±1.715). Instrumentation promoted a significant increase in canal volume ($t = 5.81$; $p = 0.0007$), a reduction in debris volume ($t = –2.54$; $p = 0.038$), and a tendency toward geometric regularization, evidenced by an increase in SMI. However, untouched areas remained, reflecting the challenges imposed by flattened canal morphology. These findings reinforce the usefulness of microCT in endodontic research and demonstrate that the Reciproc Blue system shows satisfactory performance, although with limitations in regions of high anatomical complexity.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO....1

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA....4

2.1 Anatomia de molares inferiores....4

2.2 Morfologia do canal....5

2.3 Microtomografia Computadorizada....6

2.4 Reciproc Blue....7

2.5 Metodologias usadas na avaliação do preparo do canal radicular....7

CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA....11

3.1 Anatomia Radicular e Morfologia Complexa....11

3.2 Fundamentos da instrumentação endodôntica....12

3.3 Principios da Microtomografia Computadorizada de raios X (microCT)....14

3.4 Diferença entre Tomografia computadorizada e MicroCT....18

3.5 Aplicações da técnica de MicroCT na odontologia....19

CAPÍTULO 4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL....20

4.1. Materiais e Métodos....20

4.1.1 Preparo dos espécimes....20

4.2 Avaliação por MicroCT....20

4.3 Classificação Morfológica do Canal Distal dos Molares Inferiores....22

4.3.1 Tipos de Classificação....24

4.3.2 Forma do canal....25

4.3.3 Estudo bidimensional quantitativo....25

4.4 Acesso ao Sistema de Canais Radiculares....26

4.4.1 Preparo do canal radicular....26

4.4.2 Preparo químico mecânico com Reciproc R25....28

4.4.3 Irrigação final....30

4.5 Metodologia da Análise Quantitativa Pré e Pós Instrumentação....30

4.6. Análise estatística....31

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO....33

5.1 Diâmetro dos canais e Tamanho das raízes....39

5.2 Avaliação da forma dos canais....44

5.3 Análises pré e pós instrumentação....48

5.3.1 Volume do canal 57
5.3.2 *Debris*.....58
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 62
ANEXO A - CERTIFICADO DO COMITÊ DE ÉTICA 74

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A complexidade anatômica do sistema de canais radiculares representa um dos principais desafios na prática endodôntica. Compreender a morfologia é fundamental para o planejamento da abertura coronária, a localização dos canais e um preparo químico-mecânico eficaz, aspectos determinantes para uma obturação tridimensional adequada (Vertucci, 1984; Siqueira et al., 2014). Apesar da evolução tecnológica e do desenvolvimento de novos instrumentos endodônticos, a variabilidade anatômica continua a ser um desafio, especialmente em canais achatados, ovais ou com curvaturas acentuadas (Versiani et al., 2011). Os sistemas rotatórios e reciprocantes disponíveis, falharam em melhorar o desbridamento de canais achatados, deixando grandes áreas de paredes não preparadas e acúmulos de *debris* em istmos e irregularidades no espaço do canal radicular (Guedes et al., 2022; Silva et al., 2018; Zuolo et al., 2018).

Os primeiros molares inferiores, frequentemente submetidos ao tratamento endodôntico, são conhecidos por sua diversidade anatômica. Geralmente apresentam uma raiz mesial e uma distal, porém variações podem ocorrer, incluindo raízes adicionais, como a raiz distolingual, denominada *radix entomolaris* (Skidmore & Bjorndal, 1971; Gu et al., 2009). A raiz mesial costuma apresentar dois canais, mesiovestibular e mesiolingual, frequentemente interligados por istmos e classificados em diferentes tipos segundo Vertucci. Contudo, também pode conter um único canal (Gu et al., 2009; De Km et al., 2012). Já a raiz distal, comumente formada por um canal único, pode apresentar dois canais, embora 88,8% dos primeiros molares inferiores apresentem apenas um canal nessa raiz (Skidmore & Bjorndal, 1971). Em casos mais complexos, observa-se a presença de duas raízes distais, com maior incidência nos segundos molares, variando entre 50% e 67% em incidência bilateral (Gu et al., 2009; De Km et al., 2012). A presença de dois canais na raiz distal aumenta significantemente a incidência de conexões intercanais e anastomoses, sobretudo nos 5 mm apicais, o que dificulta a limpeza e desinfecção (Gu et al., 2009).

Canais achatados frequentemente observada em raízes distais de molares inferiores, constitui um desafio adicional, pois apresenta áreas de difícil acesso aos instrumentos. Estudos evidenciam que boa parte das paredes dentinárias permanece intocada mesmo após a instrumentação, independentemente da técnica ou sistema utilizado (Wu et al., 2001; Wu et al., 2003; Rechenberg & Paqué, 2013). Em alguns casos, até 80% das paredes podem permanecer não preparadas, favorecendo a persistência de microorganismos e aumentando o risco de

insucesso endodôntico (De Deus et al., 2015).

A busca por protocolos de instrumentação e irrigação que garantam um melhor contato com a parede do canal radicular levou ao desenvolvimento de novos instrumentos no mercado (Gu et al., 2009; Elnaghy; Elsaka, 2014; SABER et al., 2015; Machado et al., 2018; Huang et al., 2019). Essas inovações incluem novas conicidades e tratamentos térmicos para ligas de Níquel-Titânio (NiTi), bem como estratégias de hibridização para abordar casos mais complexos (De-deus et al., 2015; Gavini et al., 2018). Alguns desses instrumentos foram aprimorados para melhorar suas características físicas e podem ser utilizados tanto em modo reciprocante quanto em rotatório contínuo. No entanto, são necessários mais estudos para oferecer o protocolo mais eficaz do preparo com esses instrumentos (Guedes et al., 2022).

O sistema reciprocante Reciproc Blue (VDW, Munique, Alemanha) é fabricado a partir de uma nova tecnologia em que apresenta a alteração 16 molecular da liga de NiTi anterior, denominada M-Wire, com a incorporação de um tratamento térmico inovador chamado 'Blue-Wire'. Essa modificação na liga metálica de tratamento térmico que resulta em uma camada azul de óxido de titânio em sua superfície, com maior flexibilidade e resistência à fadiga cíclica. Este instrumento possui seção transversal em forma de S, e alguns estudos já relataram resultados satisfatórios sobre sua capacidade de modelagem (Belladonna et al., 2018; De-deus et al., 2019; Duque et al., 2019; Pérez et al., 2020).

Para análise mais precisa da capacidade de modelagem dos instrumentos, a imagem em microtomografia computadorizada de raios X (microCT) tem sido considerada o melhor padrão para esta avaliação e para análises morfológicas quantitativas e qualitativas dos canais radiculares. A possibilidade de executar análises não destrutivas permite que um mesmo espécime seja utilizado na análise dessas diferentes etapas do tratamento (Guedes et al., 2022; Marceliano et al. ., 2015; Siqueira et al. , 2013; Perez et al., 2020; Sousa et al., 2018).

Portanto, o objetivo deste estudo foi caracterizar, por meio de microtomografia computadorizada de raios X, a anatomia interna dos molares inferiores e classificá-los segundo Vertucci. Adicionalmente, buscou-se avaliar a capacidade de modelagem do sistema Reciproc Blue (VDW) em raízes distais achatadas, quantificando o volume do canal radicular, a área não tocada da superfície (mm^2), o Índice de Modelo Estrutural, do inglês *Structure Model Index* (SMI), e o volume de *debris* (acúmulos sólidos remanescentes no interior do canal) antes e após a instrumentação.

A presente dissertação está organizada da seguinte forma:

No Capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica que destaca a importância do

conhecimento da anatomia interna dos molares inferiores, a dificuldade associada ao preparo de canais radiculares achatados e os avanços tecnológicos que têm permitido o desenvolvimento de novas metodologias.

No Capítulo 3, descreve-se a fundamentação teórica necessária para a adequada compreensão do estudo, abrangendo desde os fundamentos da anatomia radicular, a morfologia complexa e a instrumentação endodôntica, até os princípios gerais da microtomografia computadorizada e as aplicações da técnica na odontologia.

No Capítulo 4, são detalhados os procedimentos metodológicos empregados na pesquisa, incluindo a seleção e o preparo dos espécimes, a aquisição e reconstrução das imagens por microtomografia computadorizada, os critérios de classificação morfológica dos canais radiculares, o protocolo de instrumentação endodôntica com o sistema Reciproc Blue, bem como as metodologias de análise quantitativa pré e pós-instrumentação e a análise estatística dos dados.

No Capítulo 5, são apresentados os resultados obtidos a partir das análises morfológicas e quantitativas realizadas, contemplando a classificação anatômica dos canais distais dos molares inferiores, a avaliação da forma e dos diâmetros dos canais, bem como a análise comparativa dos parâmetros pré e pós-instrumentação, seguida da discussão dos achados com a literatura.

Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões do estudo, fundamentadas nos resultados obtidos, destacando as principais implicações dos achados para a compreensão da anatomia interna dos molares inferiores e da capacidade de modelagem do sistema Reciproc Blue, além de sugestões para o prosseguimento desta linha de investigação.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A literatura ressalta em vários trabalhos sobre a importância de entender a anatomia interna de molares inferiores e a dificuldade de preparo de canais radiculares achatados, apresentando inúmeras técnicas e/ou instrumentos endodônticos que possibilitem melhorar a qualidade do preparo destes canais. Avaliações quantitativas e qualitativas do preparo de canais radiculares tornaram-se possíveis com o avanço da tecnologia e novas metodologias.

2.1 Anatomia de molares inferiores

Os molares inferiores são o grupo dentário que mais requer tratamento endodôntico (Abarca et al., 2020; Ordila et al., 2017); além disso, uma série de complexidades está presente, a qual inclui vários canais, ramificações, istmos, canais laterais, achatamentos, entre outras (Pablo et al., 2010; Pérez et al., 2017). apresentam em sua configuração mais prevalente dois canais na raiz mesial e um na raiz distal. apesar de a anatomia da raiz distal poder apresentar complexidades que dificultam o tratamento endodôntico, a raiz mesial dos molares inferiores tende a apresentar maior riqueza em se tratando de heterogeneidade anatômica (Harris et al., 2013).

No estudo Silva et al.(2013), os autores afirmam que a população brasileira apresenta prevalência de duas raízes separadas com 2 canais na raiz mesial e 1 na raiz distal, sendo 74% no primeiro molar e 54% no segundo.

Harris et al. (2013) investigaram a morfologia interna de primeiros molares inferiores para melhor abordagem nos tratamentos endodônticos convencionais e aqueles utilizando cirurgia retrógrada. O estudo mostrou que a raiz mesial possui muito mais variações morfológicas que a raiz distal. Seu estudo concluiu que a eliminação dos 3 mm apicais da raiz removeria a maior parte dos canais laterais e ramificações apicais, os quais são reconhecidamente potenciais causadores do insucesso endodôntico.

Barsness et al. (2014) em seus estudos mostaram que a configuração de canal radicular nos molares inferiores para os canais distais, a configuração de Vertucci do tipo 1 (1 canal radicular) foi a mais frequente, com 61,1% das amostras mostrando essa configuração. De todos os 18 dentes analisados, 11,1% tiveram 2 canais, 44,4% apresentaram 3 canais, 33,3% mostraram 4 canais e 11,1% foram identificados com 5 canais em algum ponto ao longo da raiz.

Kim et al. (2015) associaram técnicas de reconstrução 2D e 3D de imagens obtidas por

microtomografia e compararam com as obtidas por diafanização para análise comparativa da morfologia interna de 31 raízes mesiais de primeiros molares mandibulares. A configuração de Vertucci de tipo IV e II foram as mais encontradas, apesar de muitos canais terem configuração complexa que impedia sua classificação. Sistemas de canais radiculares (SCR) complexos foram vistos de forma melhor na microtomografia. Os estudos utilizando a técnica de microCT vêm confirmando a natureza altamente complexa do SCR, tanto em dentes permanentes, como em decíduos (Park et al., 2009; Gu et al., 2013; Fumes et al., 2014) e mostrando que um preparo químico-mecânico adequado depende muito mais da configuração do SCR do que da técnica utilizada durante o tratamento endodôntico (Peters et al., 2001; Paqué et al., 2010).

2.2 Morfologia do canal

A morfologia do canal sempre foi uma preocupação para o endodontista tendo em vista sua grande variação. O tratamento endodôntico envolve diferentes etapas operatórias e um dos grandes desafios é saber os detalhes anatômicos internos de cada dente. O sucesso da limpeza, modelagem e obturação do sistema de canais radiculares dependem do total acesso aos canais e muitas vezes a dificuldade durante a biomecânica é devido à falta de informações sobre a anatomia interna (Estrela et al., 2015).

Um estudo de Alak SG et al. (2023) avaliou alterações na morfologia do canal radicular de molares inferiores em pacientes de diferentes idades usando a técnica de microCT, mostrou uma grande variação na configuração do canal e que a morfologia interna das raízes mesiais é mais afetada pelo envelhecimento do que os canais distais.

Marceliano et al. (2023) estudaram a morfologia interna de 100 raízes distais de primeiros molares mandibulares usando microCT. Os dentes foram escaneados e caracterizado de acordo com o tipo Vertucci, comprimento da raiz, formato do canal, presença e localização de canais acessórios e o número de forames a 4 mm do ápice, presença de istmo radicular e o comprimento do canal primário ao forame apical. Concluíram que a morfologia interna das raízes distais dos primeiros molares inferiores pode ser complexa e apresentar variações, sendo o tipo I de Vertucci o mais encontrado (57%), a secção transversal mais comum a 1 mm do ápice foi oval (49%) e circular (38%). O comprimento médio da raiz foi de 16,06 mm (16,61-19,02 mm). O tamanho médio do forame foi de 0,32 e 0,53 mm para os diâmetros menor e maior, respectivamente. O volume, área de superfície e SMI foram 7,84 mm^3 , 68,87 mm^2 e 1,52, respectivamente. Istmos radiculares foram encontrados em 47% das amostras, e a

distância média do canal primário ao forame apical foi de 2,03 mm.

Wolf et al. (2016) investigaram a configuração do canal radicular, a frequência dos forames e dos canais acessórios de 118 primeiros molares inferiores por meio de microtomografia computadorizada e imagens tridimensionais em programa. Um sistema de 4 dígitos descreve a configuração do canal radicular, do terço coronal ao apical, e o número de forames principais. Concluíram que a configuração do canal radicular dos primeiros molares inferiores varia bastante e que tanto as raízes mesiais quanto as distais apresentaram um elevado número de diversificações morfológicas.

2.3 Microtomografia Computadorizada

A microtomografia computadorizada (microCT) é um método tridimensional (3D), (Landrigan et al., 2010; Paqué et al., 2011; De-deus et al., 2015), baseado em cortes tomográficos de alta resolução. Nos últimos anos o estudo de tecidos duros em endodontia cresceu muito, pois a microCT permite a visualização 3D sem que haja a destruição da amostra durante o processo, o que gera a possibilidade da utilização de uma mesma amostra em diversos ensaios, e a avaliação das diferentes etapas operatórias de um tratamento endodôntico (Peters et al., 2001).

Além disso, possibilita a avaliação da quantidade de parede ou área de superfície do canal radicular não preparada pelos instrumentos, volume de dentina removida pela sobreposição das imagens pré e pós operatória, possibilita a visualização de *debris* acumulados nas paredes do canal (Cesario et al., 2018, Lopes et al., 2018; Xu et al., 2018; De-deus et al., 2019; Silva et al., 2019; Zhao et al., 2019) e suas extrusão apical (Alves et al., 2018). Estudos mostram que a quantidade de áreas nas tocadas é maior em canais radiculares curvos, ovais e achatados, independente dos sistemas e técnicas utilizadas, e que aproximadamente, entre 10% a 50% das paredes do canal não são alcançadas pelos instrumentos (Zhao et al., 2014; Gergi et al., 2015; Peters et al., 2015; Alves et al., 2016; Guimarães et al., 2017; Lacerda et al., 2017; Siqueira et al., 2018a; Zuolo et al., 2018).

Espera-se que a solução irrigadora utilizada no tratamento endodôntico possa alcançar e ser capaz de limpar e desinfetar as áreas não tocadas pelo instrumento, pois nessas áreas é possível persistência bacteriana na forma de biofilme, além de tecido pulpar vivo ou necrosado (Siqueira et al., 2013; Alves et al., 2016), podendo levar ao insucesso do tratamento endodôntico (Ricucci et al., 2009). Com isso, cada vez mais buscam desenvolver novas

abordagens para melhorar a desinfecção do canal radicular (Siqueira & Roças, 2011).

2.4 Reciproc Blue

O sistema Reciproc Blue opera em modo reciprocante, caracterizado por um movimento alternado, onde o instrumento gira em um ângulo de 150° na direção de corte e, em seguida, em um ângulo menor de 30° na direção oposta (Kim et al., 2012). Esse sistema pertence a uma nova geração de sistemas de lima única, possuindo uma seção transversal em forma de S, duas arestas de corte e uma ponta não cortante. O processo de fabricação do Reciproc Blue inclui um tratamento térmico que altera a estrutura molecular do instrumento, com um ciclo de aquecimento e resfriamento que promove a formação de uma camada de óxido de titânio na superfície, conferindo-lhe a cor azul. Esse tratamento aumenta a flexibilidade e a resistência à fadiga cíclica quando comparado aos instrumentos de NiTi convencionais (Topcuoglu 2017; DE-Deus et al., 2017a; Generali et al., 2019).

O Reciproc Blue pode ser utilizado como instrumento único durante a instrumentação do SCR, apresentando uma incidência muito baixa de fraturas e deformações (Plotino et al., 2015; Duque et al., 2019; Generali et al., 2019). Apresentam maior flexibilidade em comparação a instrumentos não tratados termicamente, além de não induzir a formação de microtrincas (Topcuoglu, 2017; DE-Deus et al., 2017a; Generali et al., 2019).

Pacheco-Yanes et al. (2019) compararam o transporte de diferentes instrumentos, incluindo Reciproc e Reciproc Blue, concluindo que o processo de fabricação do Reciproc Blue reduz o transporte dos canais em comparação com os instrumentos Reciproc. Por outro lado, Filizola et al. (2019) avaliaram os instrumentos ProTaper Next, Reciproc, Reciproc Blue e TRUShape (Dentsply Sirona) em relação a parâmetros como área, perímetro, volume, área de superfície, Structure Model Index (SMI) e transporte. Os resultados indicaram que instrumentos com maior conicidade promoveram maiores alterações morfológicas, mas, independentemente do número de instrumentos (únicos ou múltiplos), do tipo de movimento (rotatório ou reciprocante), do tratamento térmico das ligas ou das características específicas de cada instrumento (como conicidade e design), não houve diferenças significativas nas alterações dimensionais e no transporte dos canais, especialmente na área apical critica.

2.5 Metodologias usadas na avaliação do preparo do canal radicular

As metodologias utilizadas para avaliar diferentes instrumentos que tem a capacidade em modelar e limpar o sistema de canais radiculares tem sido constantemente avaliada e comparada, objetivando um protocolo eficaz e preciso. A introdução da microCT nesses estudos proporcionou maior reprodutibilidade, possibilitando uma comparação mais precisa entre os diferentes métodos.

De-Deus et al. (2015) investigaram as áreas não instrumentadas de canais radiculares preparados com diferentes ampliações apicais. Para isso, utilizaram dois sistemas reciprocantes (Reciproc e WaveOne) e um sistema rotatório convencional (BioRaCe), avaliando os resultados por meio de microtomografia computadorizada (microCT). Foram selecionadas trinta raízes mesiais de molares inferiores com curvatura, que foram escaneadas em resolução isotrópica de 14,16 µm antes e após a instrumentação com limas de calibres 25 e 40. As amostras foram divididas em três grupos (n=10) e observaram que o tipo de sistema de instrumentação empregado não influenciou significativamente o percentual de superfícies não tocadas nos canais radiculares. No entanto, após o alargamento apical, houve uma redução estatisticamente significativa na proporção de voxels estáticos, indicando maior alcance da instrumentação. Assim, embora nenhum dos sistemas tenha conseguido preparar integralmente a superfície dos canais, o aumento do diâmetro apical final melhorou a capacidade de modelagem dos sistemas avaliados.

Xavier S.R. et al. (2020) avaliaram a capacidade de moldagem dos sistemas XP-endo Shaper e Mtwo na preparação de canais ovais, utilizando microCT ao longo de todo o canal radicular. Foram analisados o volume, a área de superfície e a porcentagem de áreas não preparadas por meio de processamento de imagem, considerando tanto o canal completo quanto especificamente o terço apical (5 mm). Além disso, o transporte apical e a capacidade de centralização foram avaliados a 3, 5 e 7 mm do ápice. Quarenta caninos superiores de canal único e formato oval foram pareados e divididos em dois grupos (n = 20) conforme o sistema de instrumentação utilizado: XP-endo Shaper ou Mtwo. Os dentes foram escaneados por microCT antes e após a instrumentação, utilizando uma cuba térmica mantida a 37 °C para simular a temperatura corporal. Os resultados demonstraram que o sistema XP-endo Shaper foi mais eficaz na instrumentação de canais ovais em comparação ao sistema Mtwo, promovendo maiores aumentos de volume e menor porcentagem de áreas não preparadas, especialmente na região apical. No entanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas em relação ao transporte apical e à capacidade de centralização.

Da Silva et al. (2021) avaliaram a capacidade de moldagem dos sistemas TruShape e

Reciproc Blue, bem como a extrusão apical de detritos após a instrumentação de canais radiculares. O sistema ProTaper Universal foi utilizado como referência para comparação. Trinta e três pré-molares inferiores com canal único foram escaneados por microtomografia computadorizada (microCT) e distribuídos em três grupos (n = 11), de acordo com o sistema de instrumentação: TruShape, Reciproc Blue e ProTaper Universal. Após o acesso endodôntico, os dentes foram montados em um dispositivo contendo gel de agarose, simulando a resistência apical do tecido periapical e permitindo a coleta dos detritos extruídos. As amostras foram reescaneadas após a instrumentação, e foram analisadas a porcentagem de área não preparada, o volume de dentina removida e a quantidade de detritos extruídos apicalmente. Todos os sistemas promoveram extrusão apical de detritos, sem diferenças estatisticamente significativas entre eles. Quanto à modelagem, os três sistemas apresentaram porcentagens semelhantes de áreas não preparadas. No entanto, o ProTaper Universal promoveu maior remoção de dentina em comparação aos demais sistemas.

Guedes et al. (2022) compararam a capacidade de moldagem de quatro instrumentos de níquel-titânio (NiTi), reciprocantes e rotatórios, com seções transversais triangulares ou em forma de S, na preparação dos canais mesiais de molares mandibulares, por meio de microtomografia computadorizada (microCT). Foram selecionados 24 molares mandibulares extraídos, todos com configuração de classe IV de Vertucci na raiz mesial. Os dentes foram pareados em quatro grupos com base em semelhanças anatômicas reveladas pela microCT e distribuídos em quatro grupos (n = 12 canais por grupo), de acordo com o sistema de instrumentação utilizado: Reciproc Blue, R-Motion, VDW Rotate e RaCe EVO. As varreduras de microCT foram realizadas antes e após a instrumentação para avaliar o volume e a área dos canais, as superfícies não preparadas, a capacidade de centralização e a proporção entre a largura do canal e a largura da raiz. Todos os sistemas promoveram aumentos significativos no volume e na área dos canais após a instrumentação ($p < 0,05$). No entanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos em relação à porcentagem de áreas não preparadas, tanto no comprimento total quanto na região apical dos canais ($p > 0,05$). Da mesma forma, a variação no centro de gravidade do canal não apresentou diferenças significativas entre os sistemas ($p > 0,05$). A razão canal/largura da raiz, nos níveis de 0 e 4 mm apicalmente à abertura coronária, aumentou significativamente após a instrumentação em todos os grupos ($p < 0,01$), porém, sem diferença estatística entre os sistemas ($p > 0,05$). Importante ressaltar que, em nenhum caso, a largura do canal ultrapassou 40% da largura da raiz. Concluiu-se que instrumentos reciprocantes e rotatórios, com seções transversais triangulares ou em

forma de S, apresentaram desempenho equivalente na modelagem dos canais mesiais com configuração de classe IV de Vertucci em molares mandibulares.

CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Anatomia Radicular e Morfologia Complexa

A morfologia interna dos dentes apresenta uma grande variedade de configurações, sendo comum a presença de canais com formas irregulares, achatadas ou ovaladas, especialmente em dentes posteriores. Tais variações anatômicas representam um desafio clínico, pois dificultam o acesso e a completa desinfecção do sistema de canais (Vertucci, 1984)

As classificações propostas por Vertucci (1984) demonstram a complexidade anatômica existente, com diversos tipos de fusões, divisões e ramificações ao longo do comprimento da raiz (Figura 1).

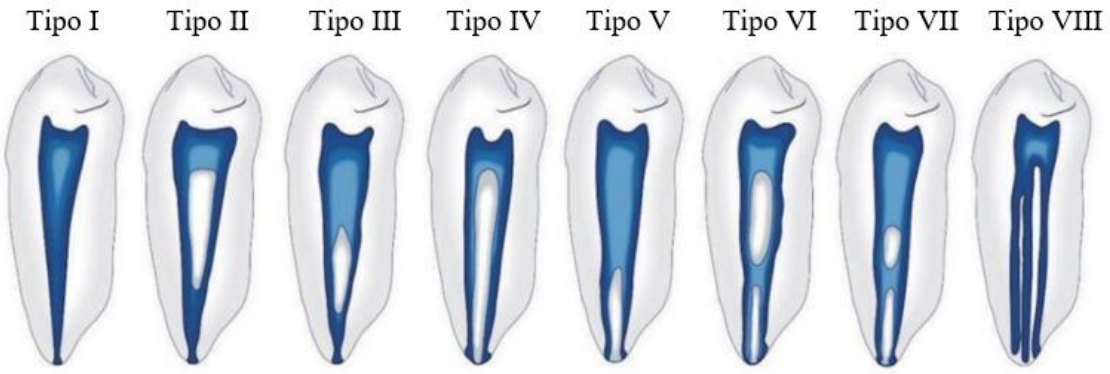

Figura 1. Representação esquemática classificação de Vertucci. Fonte: Buchanan et al., 2022.

A classificação de Vertucci dispõe de oito tipos:

- Tipo I: dente com um único canal que se estende da câmara pulpar até o ápice (1)
- Tipo II: dente com dois canais separados que saem da câmara pulpar e chega ao ápice em um único canal (2-1);
- Tipo III: dente com um canal que sai da câmara pulpar, divide-se em dois e chega ao ápice em um único canal (1-2-1);
- Tipo IV: dente com dois canais separados e distintos que se estende da câmara pulpar até o ápice (2-2);
- Tipo V: dente com um canal que sai da câmara pulpar e divide-se em dois antes de chegar ao ápice (1-2);
- Tipo VI: dente com dois canais separados que saem da câmara pulpar, unem-se e dividem-se novamente chegando ao ápice em dois canais independentes (2-1-2);

- Tipo VII: dente com um canal que sai da câmara pulpar, divide-se em dois, posteriormente torna-se um, chegando ao ápice em dois canais independentes (1-2-1-2);
- Tipo VIII: dente com três canais separados e distintos que se estendem da câmara pulpar até o ápice (3-3).

3.2 Fundamentos da instrumentação endodôntica

A instrumentação endodôntica é uma etapa essencial do tratamento dos canais radiculares, tendo como principal objetivo a modelagem, limpeza e desinfecção do sistema de canais, permitindo posterior obturação tridimensional e selamento adequado (Tavares et al., 2019). A combinação da instrumentação do canal radicular e irrigação são fundamentais para o objetivo de eliminar microorganismos e seus subprodutos (Braambati et al., 2022). Para tanto, os instrumentos e as técnicas utilizadas devem respeitar a anatomia original do canal, removendo conteúdo orgânico e inorgânico com o menor desgaste dentinário possível (Siqueira; Rôças, 2008). Para que essa limpeza seja efetiva é necessário um conhecimento detalhado da morfologia do sistema radicular e as suas variações. (Lababidi, 2013; NG et al., 2007).

Os primeiros tratamentos endodônticos eram realizados com instrumentos manuais de aço inoxidável. Embora eficazes em canais retos, essas limas apresentavam rigidez excessiva, aumentando o risco de fraturas das mesmas no interior dos canais, formação de degraus e desvios devido à rigidez e pouca flexibilidade, não acompanhando a curvatura dos canais (Azad e Chokshi, 2023). Com o desenvolvimento das ligas de níquel-titânio (NiTi) inúmeros instrumentos foram desenvolvidos com o objetivo de respeitar a anatomia e curvatura original dos canais, levando à realização de tratamentos menos invasivos e mais conservadores (Nordmeyer et al., 2011). A liga de NiTi é uma liga metálica que possui excelentes propriedades como a super elasticidade e efeito de memória de forma, superando as ligas de aço inoxidável. Com isso, os instrumentos confeccionados com NiTi possuem uma maior flexibilidade e melhor adaptação na instrumentação e limpeza dos canais, trazendo uma melhor previsibilidade ao tratamento endodôntico (Azad e Chokshi, 2023; Srivastava, 2024).

Atualmente, a instrumentação pode ser realizada por diferentes métodos: manual, rotatório ou reciprocante. O sistema rotatório foi o primeiro movimento dentre os automatizados a serem criados, utilizando lima de NiTi e fazendo rotação continua (Nascimento et al., 2017). Já o sistema reciprocante, operam com movimento alternado (horário e anti-

horário), reduzindo a tensão e diminuindo os riscos de fratura do instrumento, aumentando a segurança do procedimento (Machado, 2022; Nascimento et al., 2017; De-deus et al., 2010).

O desenvolvimento de novas ligas com tratamentos térmicos e melhorias de propriedades mecânicas tem aprimorado a flexibilidade das limas e fornecido aos profissionais instrumentos mais seguros, revolucionando a economia do tempo operatório, gerando uma facilidade trazida por esta inovação, principalmente no que diz respeito a modelagem dos condutos radiculares, sobretudo em canais curvos (Shen et al., 2013).

Com a disponibilidade de limas mais flexíveis e com o objetivo de tornar o tratamento endodôntico mais seguro, popularizou-se o uso de limas rotatórias com motor. No entanto, com o uso frequente desse novo método de instrumentação, as falhas foram sendo evidenciadas, principalmente por fadiga cíclica e fadiga torcional, levando à busca por um sistema mais eficiente (Pereira et al., 2012).

Em 1985, Roane JB desenvolveu a cinemática reciprocante, baseando-se na terceira lei de Newton e utilizou limas manuais que giravam no sentido horário e anti-horário (Lima & Cornélio, 2020). Yared (2008) sugeriu uma nova técnica utilizando apenas um instrumento para o preparo do canal, utilizando o sistema Protaper (Dentsply-Mailefer, Bellaigues, Suíça), a lima F2. Essa técnica possibilita uma grande evolução na endodontia com uma nova proposta que une a cinemática reciprocante aos instrumentos de NiTi para diminuir a fadiga cíclica e melhorar a resistência do instrumento tornando-os mais eficiente na instrumentação do canal radicular (Pereira et al., 2012; Lima & Cornélio, 2020). A cinemática reciprocante consiste em uma rotação maior no sentido anti-horário, seguida de uma rotação menor no sentido horário que permite um avanço progressivo no interior do canal radicular até o comprimento de trabalho (CT) (Rodrigues, 2015).

No ano de 2011 foi lançado no mercado o Sistema Reciproc. Este sistema é fabricado pela empresa alemã VDW e seu criador foi o Professor Yared, para ser utilizado com "instrumento único", isto é, será necessário a utilização de apenas um instrumento para realizar o tratamento endodôntico no elemento dentário (Yared, 2011, Bucheli et al., 2017).

O sistema Reciproc blue representa um dos avanços mais relevantes na instrumentação endodôntica mecanizada, integrando tecnologia de movimento reciprocante, tratamento térmico avançado e design de lâmina otimizado. Seu desenvolvimento visa aumentar a segurança, a flexibilidade e a eficácia da instrumentação, especialmente em canais curvos ou de difícil acesso com a opção de pré curvar os instrumentos para obter um acesso mais fácil aos canais quando necessário (Miranda et al., 2019). O sistema Reciproc Blue é composto por limas

de níquel-titânio denominadas R25, R40, R50, com design assimétrico com seção transversal em forma “S”, com duas lâminas cortantes e conicidade progressiva a partir do diâmetro da ponta inativa. Estão disponíveis em 3 diferentes diâmetros, R25 taper 08, R40 taper 06 e R50 taper 05, e em 3 tamanhos diferentes (21,25 e 31mm), com comprimento de 16mm de ponta ativa. A seleção do instrumento que será utilizado baseia-se na anatomia original do canal, para canais atrésicos (R25), canais de médio diâmetro (R40) e canais amplos (R50). Essas limas realizam movimentos alternados, com uma amplitude de 150° no sentido anti-horário e 30° no sentido horário, o que necessita de um motor exclusivo para sua utilização. Utiliza-se preliminarmente uma lima manual #10 para exploração ou cateterismo do canal radicular e o sistema é indicado para todos os tipos de canais (Campos et al., 2018; Bueno et al., 2018).

A Reciproc Blue passa por um processo de tratamento térmico que altera a microestrutura da liga de NiTi, conferindo maior flexibilidade e uma maior resistência à fadiga em relação ao níquel- titânio tradicional. O tratamento térmico também modifica a coloração da lima (azulada), indicando sua estrutura martensítica em temperatura ambiente, o que permite que a lima se deforme e retorne a forma original sem sofrer fratura (Plotino et al., 2017).

A instrumentação endodôntica moderna considera a anatomia interna, a escolha do sistema de instrumentação, a irrigação e o controle biomecânico, visando uma máxima limpeza e à preservação da estrutura dentária.

3.3 Principios da Microtomografia Computadorizada de raios X (microCT)

A microtomografia computadorizada de raios X (microCT) é uma técnica não destrutiva que permite a visualização de seções transversais de um material a partir de um conjunto de projeções radiográficas obtidas em diferentes ângulos.

O princípio de funcionamento baseia-se no fato de que os materiais absorvem os raios X de forma diferenciada, em função de sua composição e densidade (Fernandes, 2014). Durante a aquisição, a amostra é posicionada no centro do equipamento, entre a fonte de raios X e o detector flat panel, conforme ilustrado na figura 2.

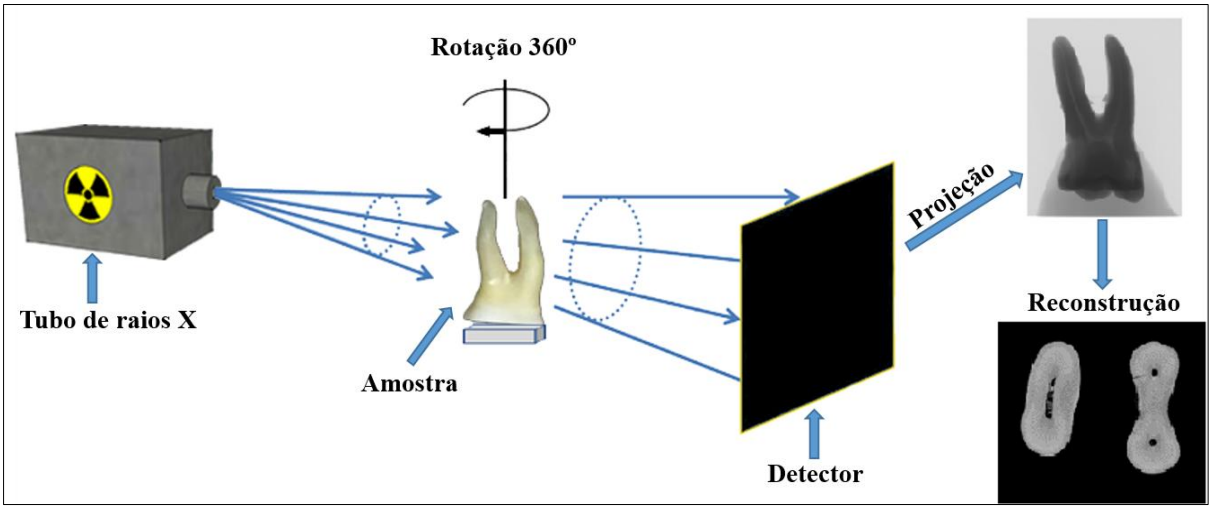

Figura 2. Esquema de funcionamento da MicroCT e seus componentes. Destaque para a amostra que é disposta entre o tubo de raios X e o detector. (Adaptado de: C. Valle-Molina, *et. al*., 2022).

O feixe de fótons incide na amostra e sofre atenuação de acordo com as heterogeneidades internas da amostra. A radiação transmitida é registrada pelo detector, que converte os sinais em dados digitais, possibilitando a reconstrução da estrutura interna da amostra.

No escaneamento, a amostra é rotacionada em 180° ou 360°, em passos angulares pré-definidos pelo operador; a cada passo, uma radiografia é adquirida (Lima et al., 2007). Concluída a rotação, as imagens são armazenadas e submetidas ao processo de reconstrução matemática, resultando em cortes nos planos axial, que podem ser integrados para formar uma representação tridimensional (imagem volumétrica).

Os raios X emitidos pelo tubo são polienergéticos, isto é, o feixe contém fótons com diferentes energias. Durante a aquisição, os fótons de baixa energia são mais facilmente absorvidos pela amostra, especialmente em regiões espessas ou densas, o que provoca desequilíbrios na atenuação e gera o artefato conhecido como endurecimento de feixe (Machado, 2015). Para mitigar esse efeito, filtros metálicos (geralmente de alumínio ou cobre) são posicionados na saída do tubo, de modo a atenuar preferencialmente os fótons de baixa energia. Esse processo reduz a intensidade total do feixe, mas, em contrapartida, aumenta sua energia efetiva, tornando-o mais homogêneo.

Assim, a qualidade das imagens depende tanto da aquisição, baseada no sistema fonte-detector, quanto do processo de reconstrução matemática, que juntos possibilitam a análise detalhada das estruturas internas da amostra de forma não destrutiva.

Durante a passagem do feixe de raios X pela amostra, parte da radiação é absorvida,

parte é espalhada e outra parte é transmitida. A intensidade da radiação que chega ao detector depende diretamente das propriedades dos materiais presentes na trajetória do feixe. O grau de absorção varia predominantemente de acordo com a densidade e o número atômico efetivo dos constituintes da amostra. Essa interação entre radiação e matéria é descrita pela Lei de Beer–Lambert, que relaciona a atenuação do feixe à espessura do material atravessado e à sua composição (Buzug, 2008), conforme descrito na equação 1.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{1}$$

Onde I_0 é a intensidade do feixe incidente e I é a intensidade do feixe transmitido, μ é o coeficiente de atenuação linear e x é a espessura do material que o feixe percorre.

O feixe de raios X usado na microCT é polienergético, portanto, diferentes intensidades de energias atingem a amostra e são absorvidos de forma diferente dependendo do material. A equação clássica da Lei de Beer-Lambert só vale para feixes com energia única (monocromáticos). Se esses feixes percorrerem regiões com diferentes densidades, com coeficientes de atenuação($\mu 1, \mu 2, \ldots, \mu n$), a intensidade I será dada pela equação 2 (Teles, 2016).

$$I = I_0 (e^{-\mu 1 \Delta x} e^{-\mu 2 \Delta x} \ldots e^{-\mu n \Delta x}) \tag{2}$$

Para valores muito pequenos de Δx, $\Delta x \rightarrow 0$ então a equação será:

$$I = I_0 e^{-\int_L \mu(x,y) dl} \tag{3}$$

Essa equação descreve uma fatia da amostra em um plano (x, y), que é a base matemática aplicada para obter a projeção e dl é o incremento do comprimento. Ela pode ser reescrita pela equação 4.

$$P = -ln \frac{I}{I_0} = \int_L \mu(x,y) dl \tag{4}$$

P é a projeção radiográfica da amostra representada pela integral de linha do coeficiente de atenuação linear percorrido pelo feixe ao longo da trajetória. Podendo ser calculada pelo logaritmo natural da razão entre a intensidade do feixe que atravessa o material pelo feixe incidente. Desse modo pode ser escrita pela equação 5.

$$P(\theta, t) = \int_L \mu(x, y) dl \tag{5}$$

Onde θ = ângulo de projeção e t = posição radial do ângulo.

A geometria em feixe cônico (cone beam) é a mais utilizada em sistemas de microCT. Nessa configuração, um feixe divergente em forma de cone incide sobre um detector planar composto por uma matriz bidimensional de pixels, permitindo registrar, em cada ângulo, uma projeção completa do volume da amostra. Isso reduz o tempo de aquisição em relação a outras geometrias, pois não há necessidade de realizar varreduras lineares adicionais (Sarkar et al., 2004). Quanto menor o passo angular, maior o número de projeções adquiridas, o que tendencialmente aumenta a qualidade da reconstrução e a quantidade de informação disponível (Cnudde; Boone, 2013).

Atualmente, a maioria dos algoritmos de reconstrução baseiam-se na Retroprojeção Filtrada (FBP) que utiliza projeções bidimensionais adquiridas em diferentes ângulos para gerar cortes 2D. No caso da microtomografia realizada com feixe cônico, utiliza-se o algoritmo de Feldkamp-Davis-Kress (FDK), desenvolvido especificamente para essa geometria (Feldkamp et al., 1984). Esse algoritmo processa as projeções 2D e as converte em cortes reconstruídos, que posteriormente formam a imagem 3D da microestrutura interna da amostra.

O programa de reconstrução Nrecon (Bruker, Kontich, Bélgica) utilizado neste trabalho, possui diversos parâmetros parâmetros de correção que reduzem artefatos comuns da aquisição. A suavização (smoothing) reduz o ruído pela comparação do valor de cada pixel com seus vizinhos, porém valores excessivos podem borrar demasiadamente a imagem, resultando em perda de informção sensível. A compensação de desalinhamento corrige erros mecânicos que produzem distorções ou sombreamento. A correção de endurecimento de feixe aplica funções de linearização para compensar a absorção diferencial de fótons de baixa energia. Já a correção de artefatos de anel identifica pixels defeituosos que mantêm valores constantes ao longo de toda a rotação e substitui seus valores pela média ponderada dos pixels vizinhos.

É essencial que as imagens durante o processo de reconstrução tenham a melhor qualidade

possível para garantir uma análise confiável.

3.4 Diferença entre Tomografia computadorizada e MicroCT

Em 1990, Tachibana & Matsumoto aplicaram a tomografia computadorizada em endodontia e demonstraram a viabilidade da reconstrução 3D. Contudo, a resolução da época (0,6 mm) não permitia avaliação detalhada da anatomia interna.

A tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) é amplamente utilizada na clínica para o estudo dos maxilares e dentes, mas sua resolução, geralmente entre 75 e 200 μm, é voltada para estruturas maiores, não revela detalhes da microanatomia óssea ou do sistema de canais radiculares. O aumento da resolução espacial também está limitado pela dose de radiação, restringindo imagens de alta qualidade in vivo (Peyrin et al., 2014).

Já a microCT supera essa limitação, pois é empregada in vitro e não depende de restrições de dose. Assim, permite o uso de raios X mais potentes (com maiores energias e consequentemente com maior poder de penetração), maiores tempos de aquisição e menores focos, alcançando resoluções na faixa de 5 a 30 μm, muito superiores às obtidas pela tomografia computadorizada de feixe cônico (Ketcham & Carlson, 200; Lima I, 2002; Lima I, 2006).

A microCT segue os mesmos princípios da tomografia computadorizada, mas é otimizada para o estudo de pequenas estruturas. Isso é possível porque o sistema não está sujeito às limitações de dose impostas pela TC clínica, permitindo tempos de exposição maiores e o uso de focos extremamente pequenos (0,1–100 μm), que aumentam significativamente a resolução espacial. (Nabel et al.,1986; Ketcham & Carlson, 2001). O desempenho final depende de fatores como tamanho do voxel, nível de ruído, resolução espacial, resolução de contraste e tamanho focal do tubo de raios X (Feser et al., 2008).

Durante a aquisição das imagens no microCT, o detector registra várias projeções em diferentes ângulos de rotação do objeto. Essas projeções não formam imediatamente uma imagem, mas sim um conjunto de dados brutos chamado sinograma. O sinograma funciona como um "rascunho matemático" da amostra, reunindo todas as medidas de atenuação dos raios X obtidas em cada ângulo. Para que esse conjunto de dados seja transformado em cortes bidimensionais ou reconstruções tridimensionais compreensíveis, é necessário aplicar algoritmos específicos de reconstrução, como a retroprojeção filtrada (FBP), que gera cortes bidimensionais (*slices*) (Vannier, 2003; Scarfe et al., 2006).

Cada projeção é formada por pixels, mas quando renderizadas tridimensionalmente,

observamos voxels, que representam a escala de de cinza tridimensional da amostra. Quanto menor o voxel reconstruído e maior a matriz do detector, tendencialmente será obtida uma melhor resolução espacial (Romans, 2013).

3.5 Aplicações da técnica de MicroCT na odontologia

A microtomografia computadorizada (microCT) consolidou-se como uma ferramenta essencial na pesquisa em odontologia, permitindo a análise tridimensional de estruturas dentárias com alta resolução, sem destruição das amostras. Suas aplicações abrangem desde a avaliação da espessura do esmalte, da densidade mineral da dentina e do esmalte, identificacao de desmineralização em áreas careadas, mensuração de cavidades dentárias, quantificação da dentina removida em diferentes tratamentos de cáries, avaliação da morfologia do canal radicular, avaliar o sucesso de implantes dentários e identificaçao de microinfiltração em selantes dentários (Neves et al., 2014; Chałas et al., 2017; Hayashi-Sakai et al., 2019).

CAPÍTULO 4 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1. Materiais e Métodos

O projeto do presente trabalho foi encaminhado e aprovado junto ao Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro (HUCFF-UFRJ), sob o protocolo n.82091524.1.0000.5257 (Anexo A).

4.1.1 Preparo dos espécimes

Foram selecionadas para este estudo 100 (cem) primeiros e segundos molares inferiores, extraídos por diferentes motivos como cáries ou doença periodontal. As raízes não apresentavam fraturas nem tratamento endodôntico, ápice formado, incluíam molares direitos e esquerdos, de ambos sexos, raças e de idades desconhecidas. E para avaliar a capacidade de modelagem do sistema Reciproc Blue nas raízes distais achatadas foram escolhidos 8 (oito) desses molares inferiores com raízes distais achatadas.

4.2 Avaliação por MicroCT

Neste estudo foram empregados dois sistemas distintos de microtomografia computadorizada para a aquisição das imagens, ambos apresentados na figura 3a. Trinta dentes foram escaneados no equipamento SkyScan 1273 (Bruker, Kontich, Bélgica), um microtomógrafo de alta resolução equipado com tubo de raios X de microfoco (40–130 kV) e detector CMOS flat-panel de 6 megapixels (3072 × 1944 pixels). As aquisições foram realizadas com tensão de 70 kV, corrente de 180 µA, tamanho de pixel efetivo de 14 µm, filtro de alumínio de 0,5 mm, tempo de exposição de 173 ms, média de 5 frames por projeção e rotação de 360° com incrementos angulares de 0,5°.

Adicionalmente, outros 70 dentes foram escaneados no sistema SkyScan 1173 (Bruker, Kontich, Bélgica), ilustrado na Figura 3b, caracterizado por operar na faixa de 40 a 130 kV, com potência máxima de 8 W, e equipado com detector flat panel de alta resolução (2240 × 2240 pixels, 12 bits). As imagens foram adquiridas com tensão de 70 kV, corrente de 114 µA, tamanho de pixel entre 19 e 25 µm, filtro de alumínio de 1 mm, média de 5 frames, rotação de 360° e passos angulares de 0,5°.

Por fim, todas as projeções adquiridas pelos dois sistemas foram reconstruídas no programa Nrecon (Figura 4), empregando parâmetros otimizados de correção de endurecimento de feixe, redução de artefatos em anel e suavização, garantindo a padronização dos volumes tridimensionais utilizados nas análises subsequentes.

Após a reconstrução, os dentes foram analisados nos programas Isee e CTan para os cálculos quantitativos e CTVox e Avizo Fire para a construção dos modelos tridimensionais.

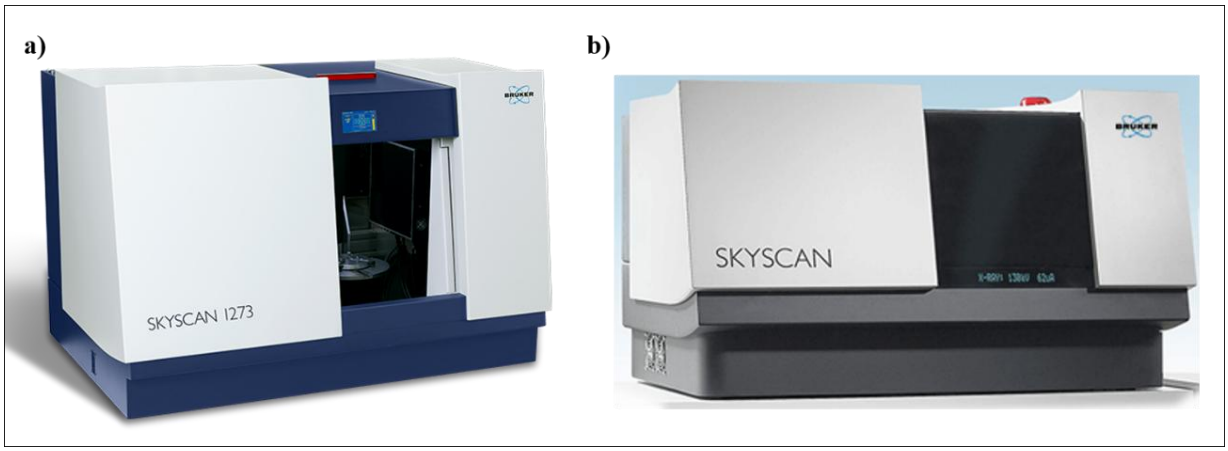

Figura 3. Sistemas de microtomografia utilizados no estudo: (a) equipamento SkyScan 1273, empregado para o escaneamento de 30 dentes; e (b) sistema SkyScan 1173, utilizado para o escaneamento de 70 dentes.

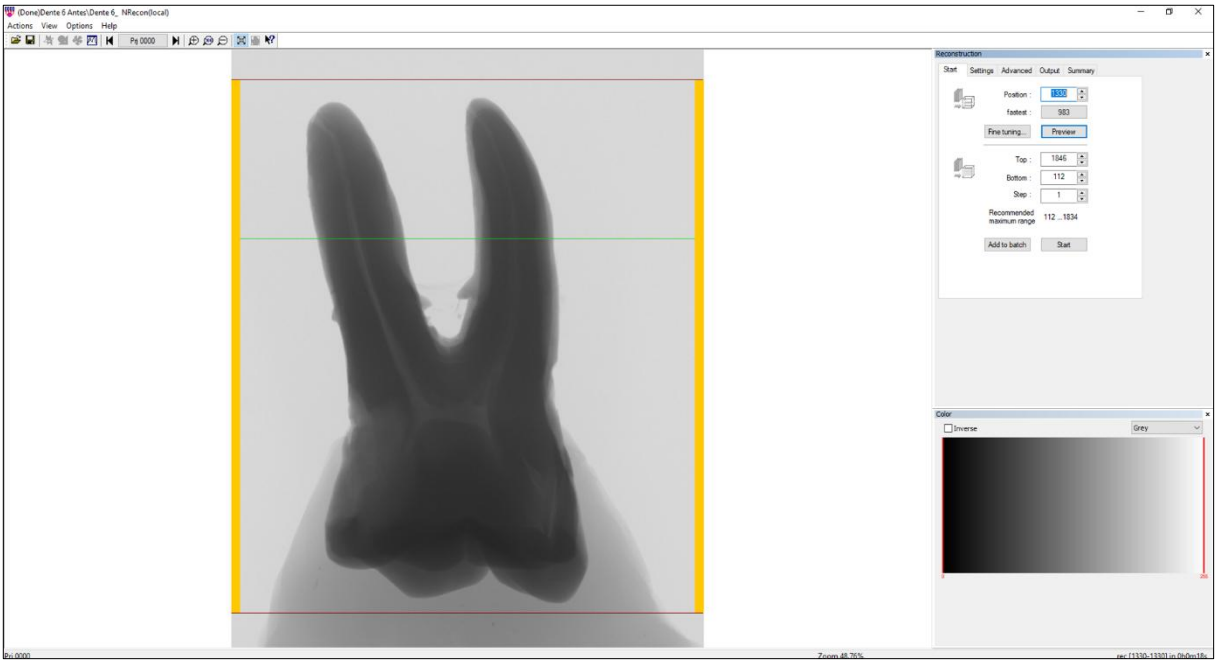

Figura 4: Interface do programa Nrecon v.1.6.9 (Bruker Micro-CT, Kontich, Bélgica).

4.3 Classificação Morfológica do Canal Distal dos Molares Inferiores

Após a reconstrução, o primeiro passo foi abrir os arquivos no programa CTan. Após isso foi anotado o comprimento da raiz a ser analisada (Figura 5). A área a ser analisada foi selecionada em sentido vertical desde o ápice até a porção cervical da raiz. Foi delimitada a região de interesse ROI (região de interesse) manualmente (Figura 6), a qual é definida como uma área espacial numa imagem, o que pode ser delineada utilizando ferramentas de programa. Após a seleção foi realizadaa interpolação para a obtenção do volume de interesse (VOI).

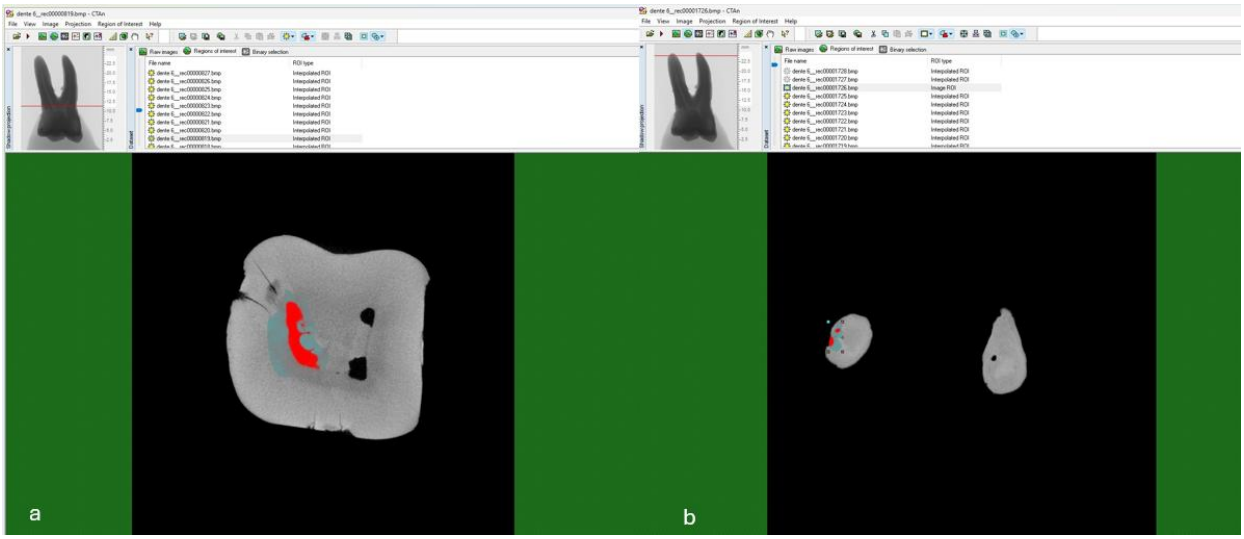

Figura 5. (a) Representação do "set the top of selection" na porção cervical e "set the bottom of selection" na porção apical (b) para completar a área de interesse em comprimento da raiz.

A área de interesse foi binarizada para assim poder obter o modelo tridimensional do canal radicular (Figura 6). A binarização foi realizada também no CTAn, a partir da definição do limiar (threshold) adequado para a separação dos materiais contidos no ROI (Figura 7). Foi realizado no programa CTVox a representação do modelo 3D do canal que foi binarizado, onde é possível observar o objeto tridimensional em diferentes angulações (Figura 8).

A análise da configuração do sistema de canais radiculares foi realizada segundo a classificação de Vertucci, examinando os dados de microCT *slice* à *slice* no programa CTAn, conforme método previamente utilizado em estudos similares (SEVGI, 2024).

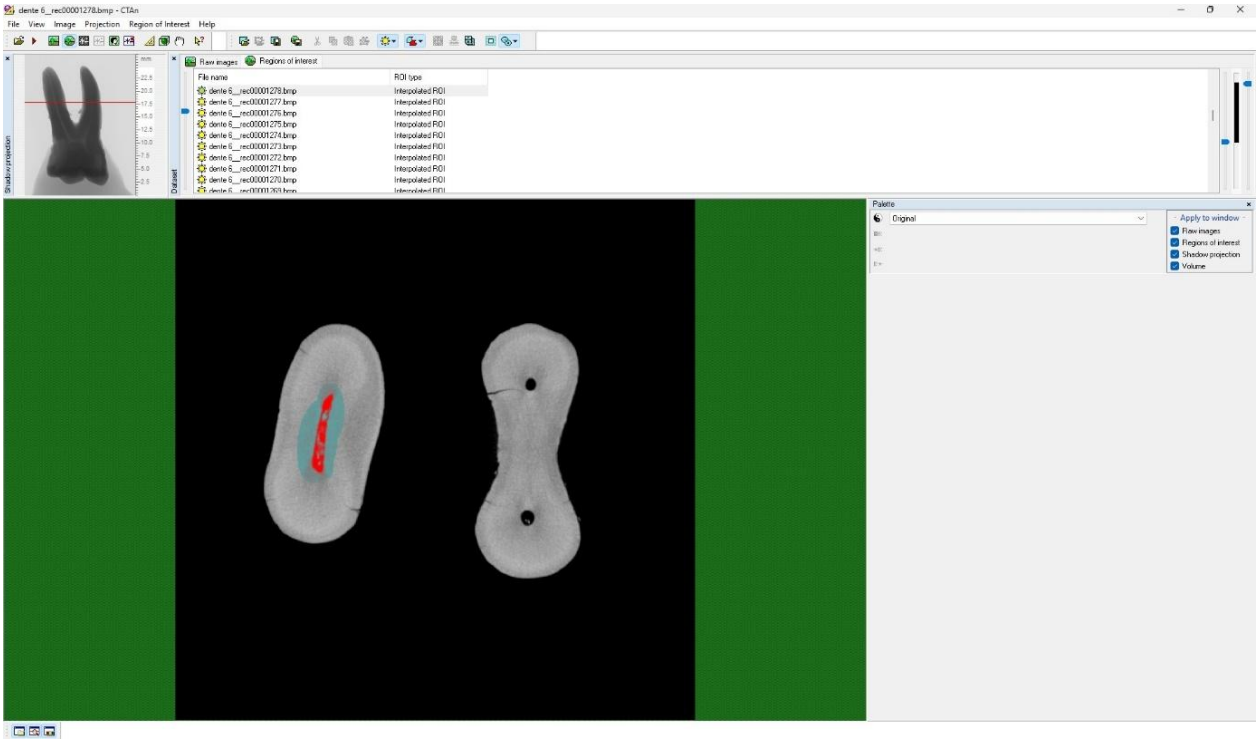

Figura 6. Seleção da área de interesse que se deseja binarizar (ROI). Para ser binarizado corretamente deve-se manter o canal dentro do espaço vermelho em todo o comprimento de interesse.

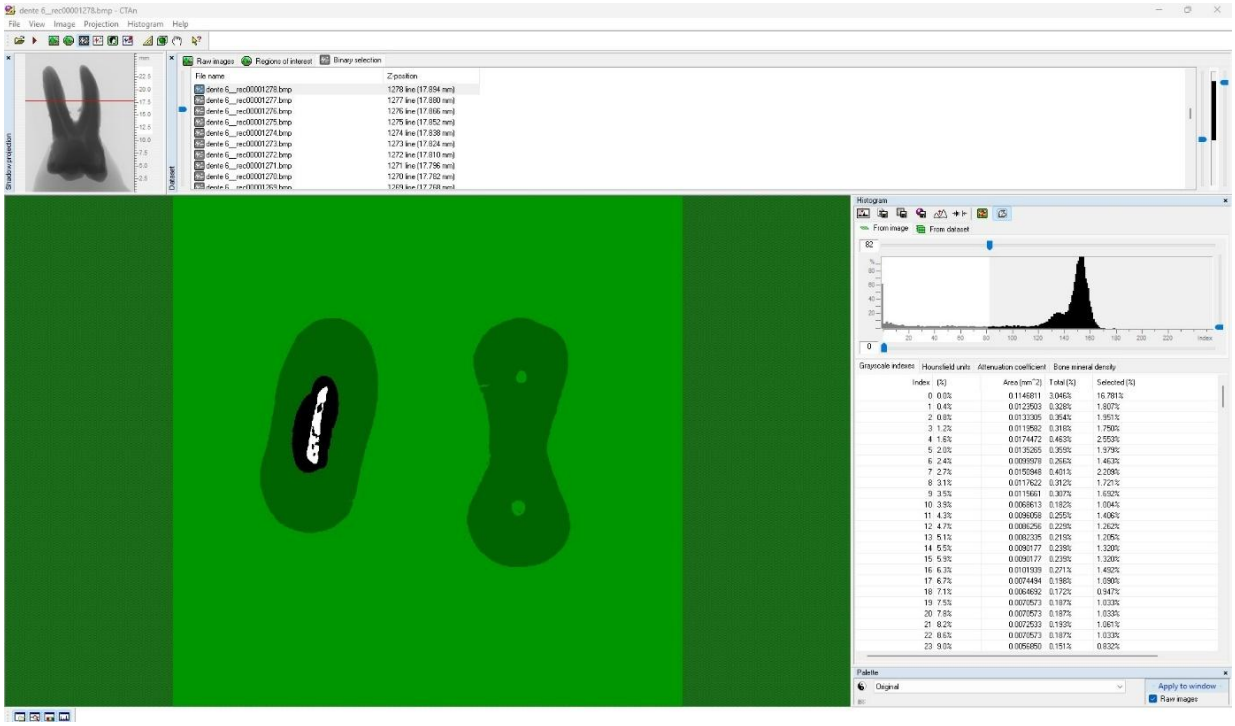

Figura 7. A área de interesse após binarizada (canal em cor branca).

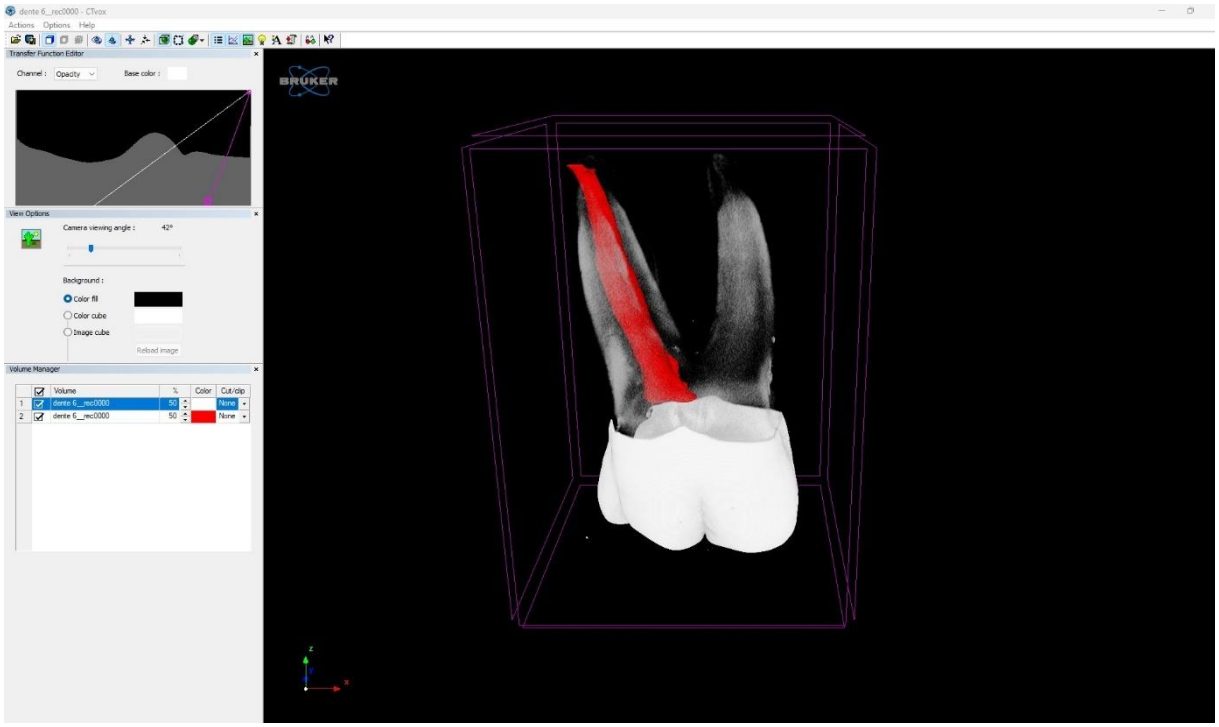

Figura 8. Representação do modelo 3D do canal que foi segmentado e o volume aberto no programa de CTvox.

4.3.1 Tipos de Classificação

Os canais foram classificadas de acordo com Vertucci et al. (1984). Esta classificação se encarrega da análise e da definição morfológica interna dos canais de acordo com os critérios detalhados no capítulo 3 (Figura1).

A classificação dispõe de oito tipos, sendo o tipo I: dente com um único canal que se estende da câmara pulpar até o ápice; o tipo II: dente com dois canais separados que saem da câmara pulpar e chega ao ápice em um único canal; tipo III: dente com um canal que sai da câmara pulpar, divide-se em dois e chega ao ápice em um único canal; tipo IV: dente com dois canais separados e distintos que se estende da câmara pulpar até o ápice; tipo V: dente com um canal que sai da câmara pulpar e divide-se em dois antes de chegar ao ápice; tipo VI: dente com dois canais separados que saem da câmara pulpar, unem-se e dividem-se novamente chegando ao ápice em dois canais independentes; tipo VII: dente com um canal que sai da câmara pulpar, divide-se em dois, posteriormente torna-se um, chegando ao ápice em dois canais independentes e o tipo VIII: dente com três canais separados e distintos que se estendem da câmara pulpar até o ápice.

4.3.2 Forma do canal

Foram definidas as formas do canal em três possíveis configurações: circular, oval, oval longo e achatado, observando a diversidade de formas que podem ser encontrados num mesmo canal desde o terço apical até o cervical.

Tabela 1. Configuração das formas do canal radicular.

Forma do canal	Relação entre os diâmetros	Critério de classificação
Redonda	≤ 1	Diâmetro bucolingual igual ou menor que o mesiodistal
Oval	> 1 e ≤ 2	Diâmetro bucolingual maior que o mesiodistal, até duas vezes maior
Oval alongada	> 2 e ≤ 4	Diâmetro bucolingual superior ao mesiodistal em mais de duas até quatro vezes
Achatada	> 4	Diâmetro bucolingual ultrapassa o mesiodistal em quatro vezes ou mais

4.3.3 Estudo bidimensional quantitativo

Foram estabelecidos os diâmetros dos canais principais e acessórios. Diâmetros mesiodistal e vestibulolingual na região apical.

Para a realização das medições, foi utilizado o software CTAn. A mensuração do canal distal foi realizada nos 6,0 mm apicais, com intervalos de 1,0 mm, nos sentidos mesiodistal e vestibulolingual, utilizando as ferramentas do próprio programa. Os dados obtidos foram organizados em tabelas para posterior análise estatística. As medições não foram realizadas de forma aleatória, mas em níveis previamente definidos, a fim de permitir uma avaliação sistemática e representativa da morfologia radicular.

As análises foram conduzidas em seis níveis distintos: o nível 1 correspondeu à junção cemento-esmalte (JCE); os níveis 2, 3 e 4 consistiram em três cortes distribuídos de maneira

equidistante entre os níveis 1 e 5; o nível 5 foi localizado a 1,0 mm aquém do ápice anatômico; e o nível 6 correspondeu à região do forame apical.

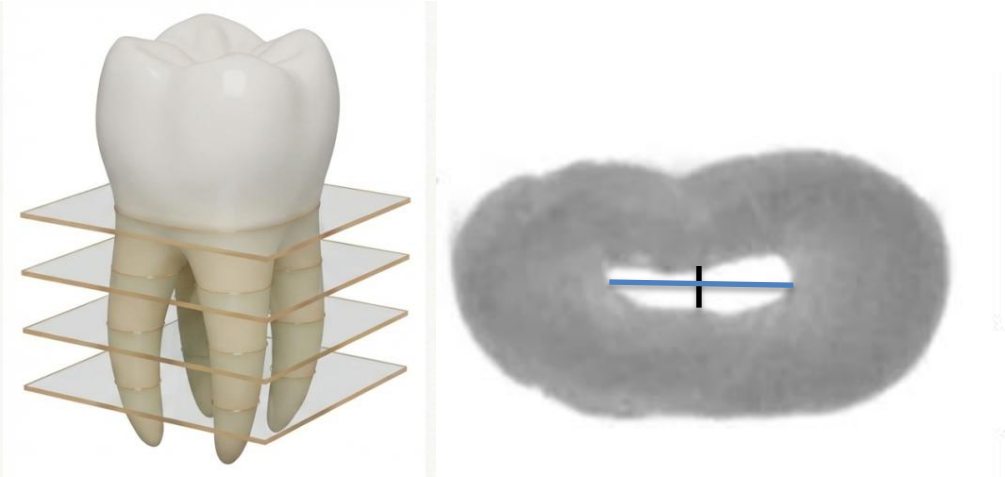

Figura 9. Representação da mensuração dos diâmetros mesiodistal (linha azul) e vestibulolingual (linha preta).

4.4 Acesso ao Sistema de Canais Radiculares

O acesso endodontico foi realizado com broca diamantada 1014 (KG Sorensen, São Paulo, Brasil) e broca Endo Z (Dentsply Sirona), conforme previamente descrito na literatura (Patel; Rhodes, 2007; Silva et al., 2018). O teto da câmara pulpar foi removido e um acesso livre e direto até o terço coronal foi realizado.

4.4.1 Preparo do canal radicular

Os canais distais foram explorados com as limas C-pilot 10 (VDW GmbH, Munique, Alemanha) até que a ponta do instrumento seja vista no forame apical. A lima foi recuada em 1mm e essa medida foi registrada como comprimento de trabalho (CT) (Figura 9). Uma lima cpilot 10 será usada para verificar e manter a patência do canal radicular sempre que um instrumento for removido do canal. Após essa etapa, o ápice e toda a parte externa da raiz foram vedados com uma camada de Top dam (FGM, Joinville, Santa Catarina, Brasil) na porção apical (Figura 10).

Figura 10. Determinação do comprimento de trabalho (CT) com lima C-Pilot 10 e visualização da ponta do instrumento no forame apical.

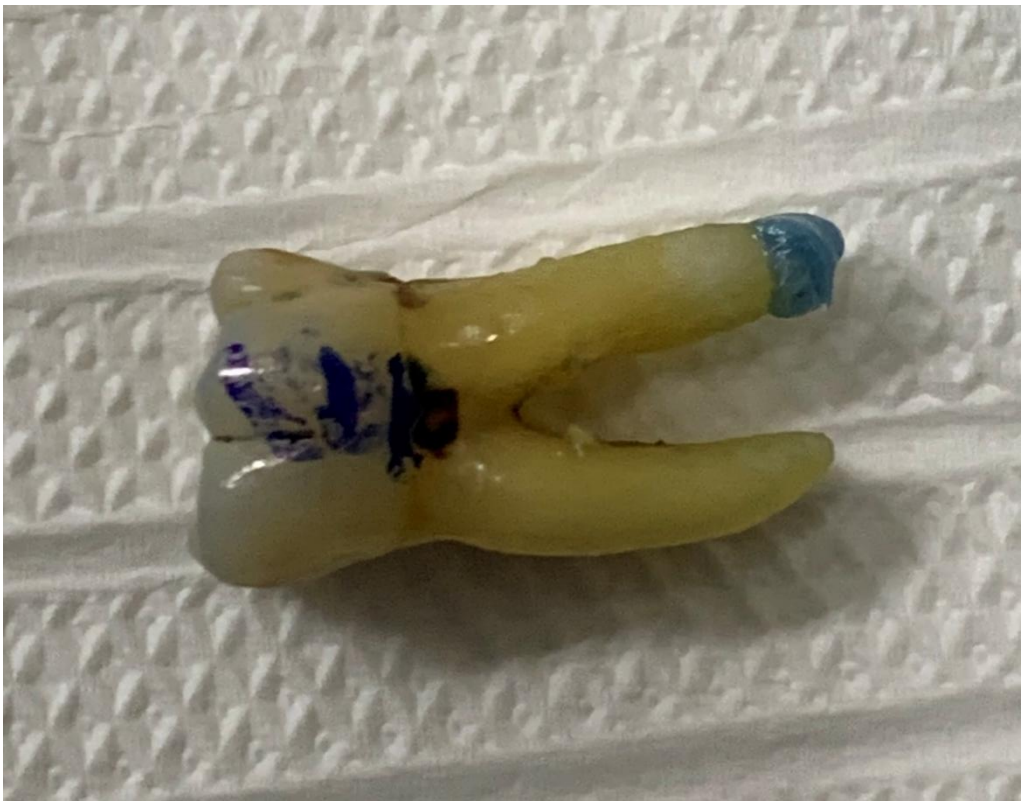

Figura 11. Forame apical da raiz distal selada com Topdam.

Os dentes foram posicionados em uma mandibula, para a realização do preparo químico

mecânico. Inicialmente cada canal radicular foi irrigado com 2 ml de NaOCl 2,5% e uma lima tipo 15 foi utilizada no CT.

4.4.2 Preparo químico mecânico com Reciproc R25

O preparo com o instrumento Reciproc Blue R25 (Figura 12) foi realizado com contra ângulo reciprocante direct (VDW) (Figura 13) de acordo com o fabricante. O instrumento foi utilizado com 3 movimentos lentos de entrada e saída, com uma ligeira pressão no sentido apical (Figura 12). Três ciclos foram realizados. Após cada ciclo, o instrumento era retirado do canal, limpo com uma gaze estéril e novamente introduzido no canal. 5ml de NaOCl foram utilizados entre cada ciclo do instrumento, totalizando 15 ml de NaOCl por canal.

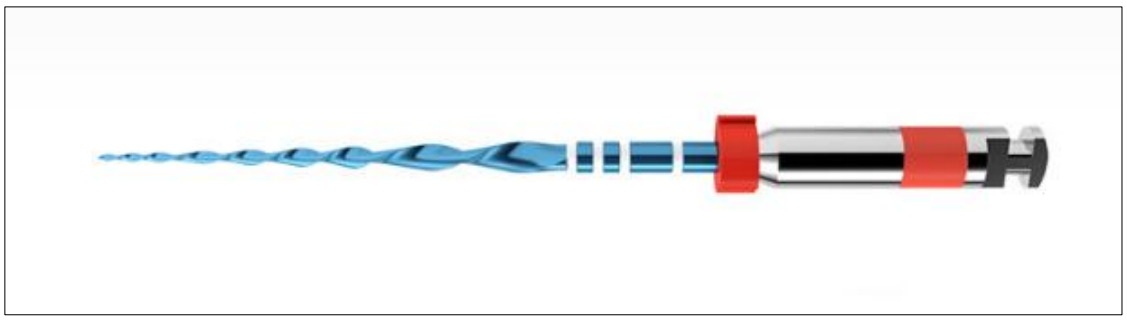

Figura 12. Lima Reciproc Blue R25Fonte: A imagem retirada do site: https://www.vdw-dental.com/

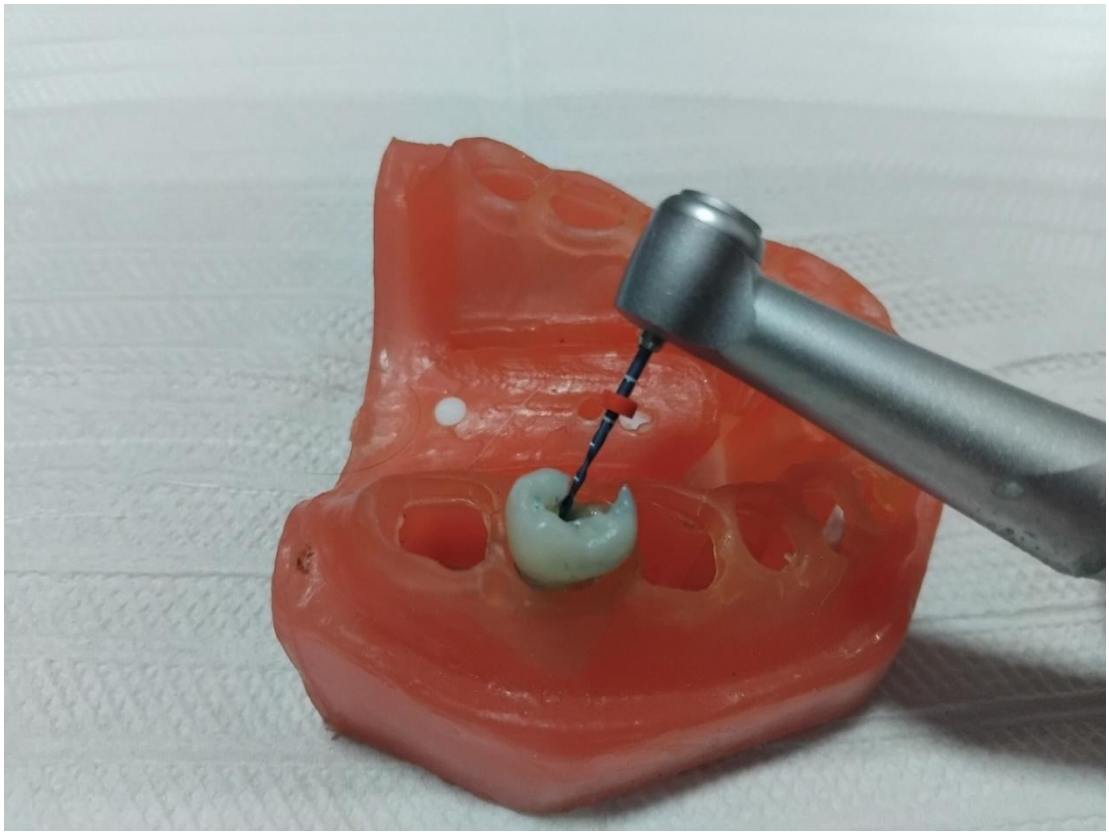

Figura 13. Imagem representativa do instrumento reciprocante no canal distal.

Todos os canais foram instrumentados por um operador especialista em endodontia com três anos de experiência. Cada instrumento foi utilizado em dois molares. O mesmo protocolo de irrigação foi utilizado para os dois grupos. Uma agulha de 30G Navitip (Ultradent, EUA) acoplada a uma seringa hipodérmica de 5ml foi utilizada para irrigação com NaOCl 2,5%, 3 mm aquém do CT(Figura 14).

Figura 14. Imagem representativa do processo de irrigação.

4.4.3 Irrigação final

A irrigação final foi realizada com 2ml de NaOCl 2,5%, seguido de 2 ml de EDTA 17%. Os dentes foram novamente irrigados com 2 ml de NaOCl e depois com 2ml de soro fisiológico.

4.5 Metodologia da Análise Quantitativa Pré e Pós Instrumentação

Para a quantificação das imagens de microCT, é fundamental a definição de uma região de interesse (ROI), uma vez que todas as análises subsequentes dependem da correta delimitação espacial do volume analisado. Neste estudo, a ROI corresponde a uma fatia transversal, enquanto o volume de interesse (VOI) refere-se ao conjunto de todas as fatias selecionadas, resultando em um volume tridimensional contínuo, a partir do qual todas as avaliações quantitativas foram realizadas. A ROI/VOI foi determinada ao redor do canal radicular, abrangendo todo o espaço interno do canal e uma porção de dentina adjacente, garantindo que o volume analisado representasse fielmente a anatomia interna e permitisse comparações diretas entre os estágios pré e pós-instrumentação.

Após a definição do VOI, procedeu-se à segmentação do canal radicular. Como o canal

é um espaço vazio em relação aos tecidos dentários mineralizados, o processo de binarização converteu esse espaço interno em objeto (fase branca), permitindo que o programa reconhecesse o canal como uma entidade tridimensional passível de quantificação. A dentina circundante, por sua vez, permaneceu como fase de fundo (background), sendo excluída das métricas destinadas ao canal.

Primeiramente, o canal pós-instrumentação foi carregado no CTAn para definição da ROI/VOI, assegurando que todas as análises morfométricas fossem realizadas sobre a mesma região anatômica em ambos os estágios. Após essa etapa, procedeu-se à binarização do volume, processo essencial para transformar o canal radicular em objeto (fase branca), permitindo que o programa reconhecesse e mensurasse sua morfologia tridimensional. Na guia *Custom Processing*, empregou-se o *plugin 3D Analysis* para quantificar o volume do canal e o Índice de Modelo Estrutural (SMI).

Para a quantificação do volume de *debris*, uma nova ROI foi delimitada exclusivamente na região interna do canal. Os detritos presentes em seu interior foram binarizados como objetos e analisados pelo mesmo *plugin,* possibilitando a determinação do volume de *debris* remanescentes.

Para a análise das áreas não tocadas, inicialmente o volume pré-instrumentação foi carregado no CTAn para o cálculo da *Surface Area*, representando a área total da superfície interna do canal original. Esse cálculo também foi realizado, utilizando o *plugin 3D Analysis*.

Em seguida, o volume pós-instrumentação foi aberto como objeto, enquanto o volume pré-instrumentação foi aplicado como VOI, garantindo correspondência espacial entre os estágios. Utilizando novamente o *plugin*, obteve-se o parâmetro *Intersection Surface*, correspondente à porção da superfície original que foi efetivamente tocada pelos instrumentos endodônticos.

Por fim, a área não tocada pela instrumentação foi calculada pela diferença entre a superfície total pré-instrumentação e a superfície de interseção.

4.6. Análise estatística

Inicialmente, todas as variáveis contínuas (diâmetros maior e menor em diferentes níveis da raiz e comprimento radicular) foram avaliadas descritivamente por meio de média, desvio-padrão, valores mínimos e máximos. A normalidade das distribuições foi verificada pelo teste de Shapiro–Wilk para orientar a escolha dos testes subsequentes.

A associação entre a forma do canal a 4 mm e a classificação de Vertucci foi avaliada

por meio de regressão logística multinomial. Os coeficientes do modelo foram testados individualmente, e os valores de *p* foram derivados do cálculo do z-score (coeficiente/erro-padrão). A significância global do modelo foi interpretada com base nos valores de *p* dos preditores.

Para as variáveis avaliadas antes e depois da instrumentação, incluindo volume do canal e quantidade de *debris*, foram calculadas as diferenças pareadas entre os dois momentos. Após verificação de normalidade das diferenças pelo teste de Shapiro–Wilk, aplicou-se o teste t pareado sempre que a normalidade não foi rejeitada. Em casos de violação da normalidade, utilizamos o teste de Wilcoxon pareado. As estimativas foram apresentadas com média da diferença, intervalo de confiança de 95% e valor de *p*.

O nível de significância adotado em todas as análises foi de $\alpha = 0.05$. As análises estatísticas foram conduzidas no programa R (versão 4.5.1; R Core Team, 2025).

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram avaliadas 100 raízes distais de molares inferiores escaneadas em microCT, sendo 71 primeiros molares inferiores (71%) e 29 segundos molares inferiores (29%).

As variações anatômicas foram classificadas de acordo com Vertucci (1984). A morfologia mais frequente foi o tipo I (dente com um único canal que se estende da câmara pulpar até o ápice), sendo verificada em 78% (Tabela 2) dos casos, seguida da morfologia tipo III (dente com um canal que sai da câmara pulpar, divide-se em dois e chega ao ápice em um único canal), apresentando uma frequência de 10%. As morfologias do tipo II, V, VI e VII foram as menos encontradas, mostrando porcentagem de 2, 5, 1 e 3 respectivamente. As morfologias do tipo IV e VIII não foram identificadas (Tabela 2).

Tabela 2. Prevalência (%) das variações morfológicas dos canais de raízes distais de molares inferiores.

TIPO	PREVALÊNCIA %
I	78
II	2
III	10
IV	-
V	5
VI	1
VII	3
VIII	-

Nos primeiros molares inferiores (71%), o tipo I e III foram as mais frequentes apresentando um percentual de 80% e 8%, respectivamente. O tipo II foi o menos comum, estando presente em apenas 2% dos casos (Tabela 3).

Tabela 3. Prevalência (%) da morfologia dos canais distais de primeiro molar inferior

TIPO	PREVALÊNCIA (%)
I	80
II	3
III	8
IV	-
V	4
VI	-
VII	4
VIII	-

Assim como nos primeiros molares inferiores, nos segundos molares inferiores (29%) o tipo I de Vertucci representou a variação mais comum (80%), seguida da morfologia tipo III (14%). A morfologia observada com menor frequência foi a do tipo VI, representando 3% dos casos. A morfologia tipo II, IV, VII e VIII não foram encontrados no presente estudo (Tabela 4).

Tabela 4. Prevalência (%) da morfologia dos canais distais de segundo molar inferior

TIPO	PREVALÊNCIA (%)
I	76
II	-
III	14
IV	-
V	7
VI	3
VII	-
VIII	-

Quando comparadas as variações anatômicas dos primeiros molares inferiores com as

dos segundos, observou-se que as morfologias do tipo I, III e V apresentaram uma frequência semelhante nos dois grupos dentários. As morfologias do tipo II e VII foram frequentes nos primeiros molares e não encontradas nos segundos molares.

As figuras de 15 a 20 são imagens representativas dos modelos tridimensionais das raízes distais dos molares mandibulares da amostra de acordo com a classificação de Vertucci.

A classificação da morfologia dos canais radiculares foi realizada no CTAn por meio da análise sequencial dos cortes axiais. Embora modelos 3D tenham sido gerados para fins ilustrativos, a determinação da configuração interna baseou-se na avaliação slice por slice, por oferecer maior precisão na identificação de divisões, fusões e demais variações anatômicas. As reconstruções tridimensionais podem apresentar pequenas discrepâncias devido a processos de suavização da superfície.

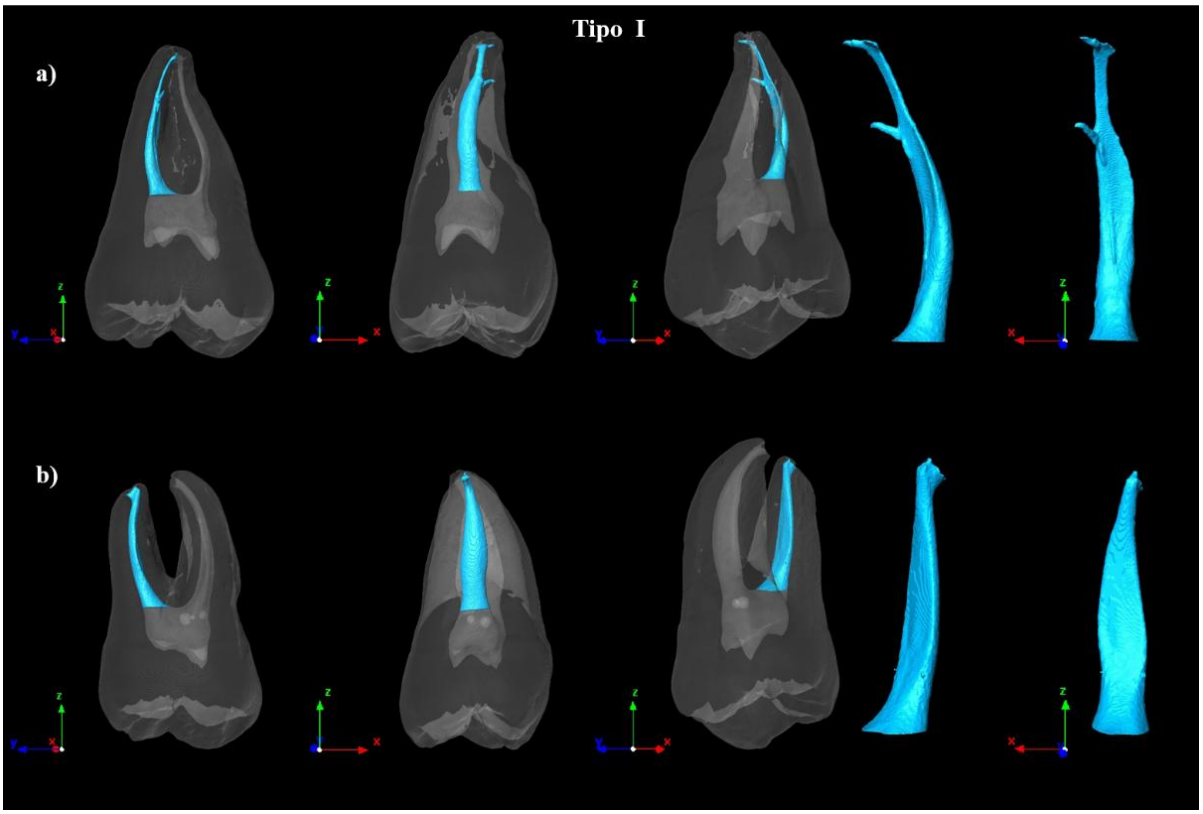

Figura 15. Representação tridimensional de dois molares inferiores, a) dente 13, b) dente 23 com configuração radicular correspondente ao Tipo I.

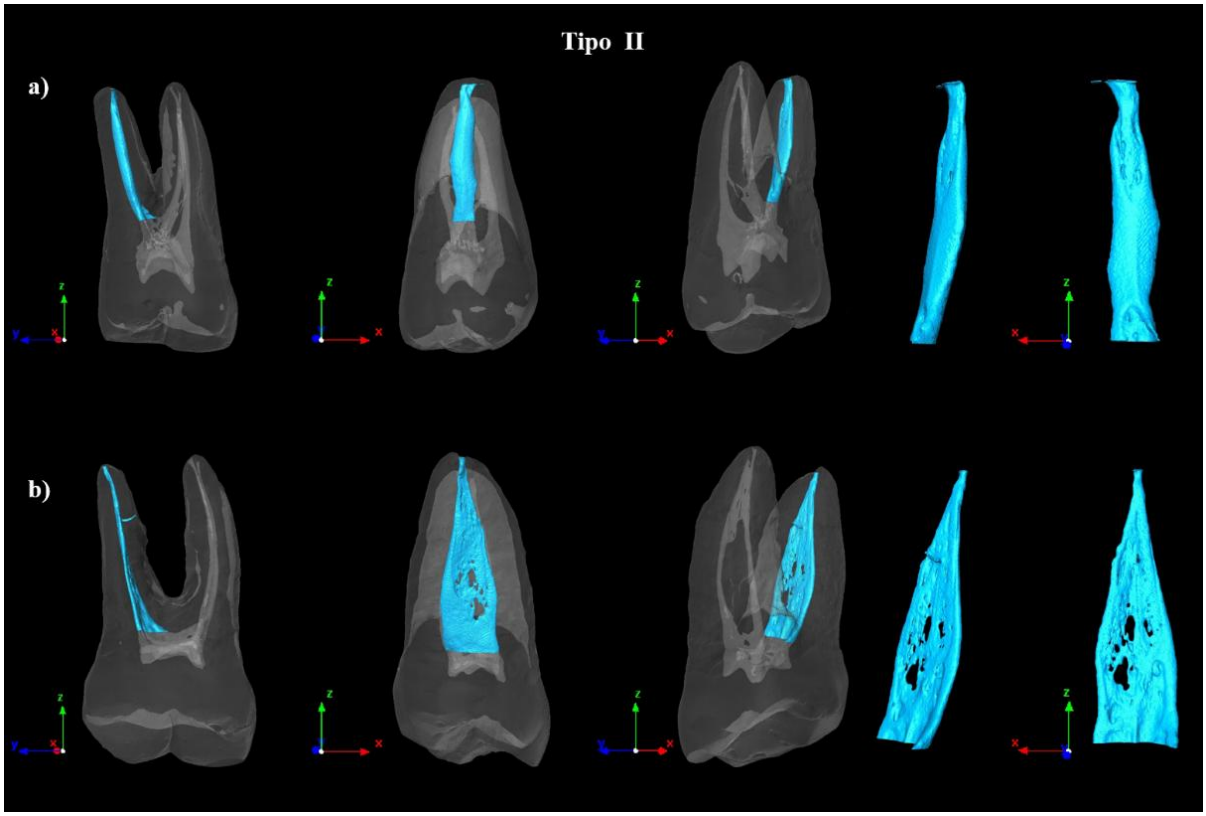

Figura 16. Representação tridimensional de dois molares inferiores a) dente 46 b) dente 49 com configuração radicular correspondente ao Tipo II.

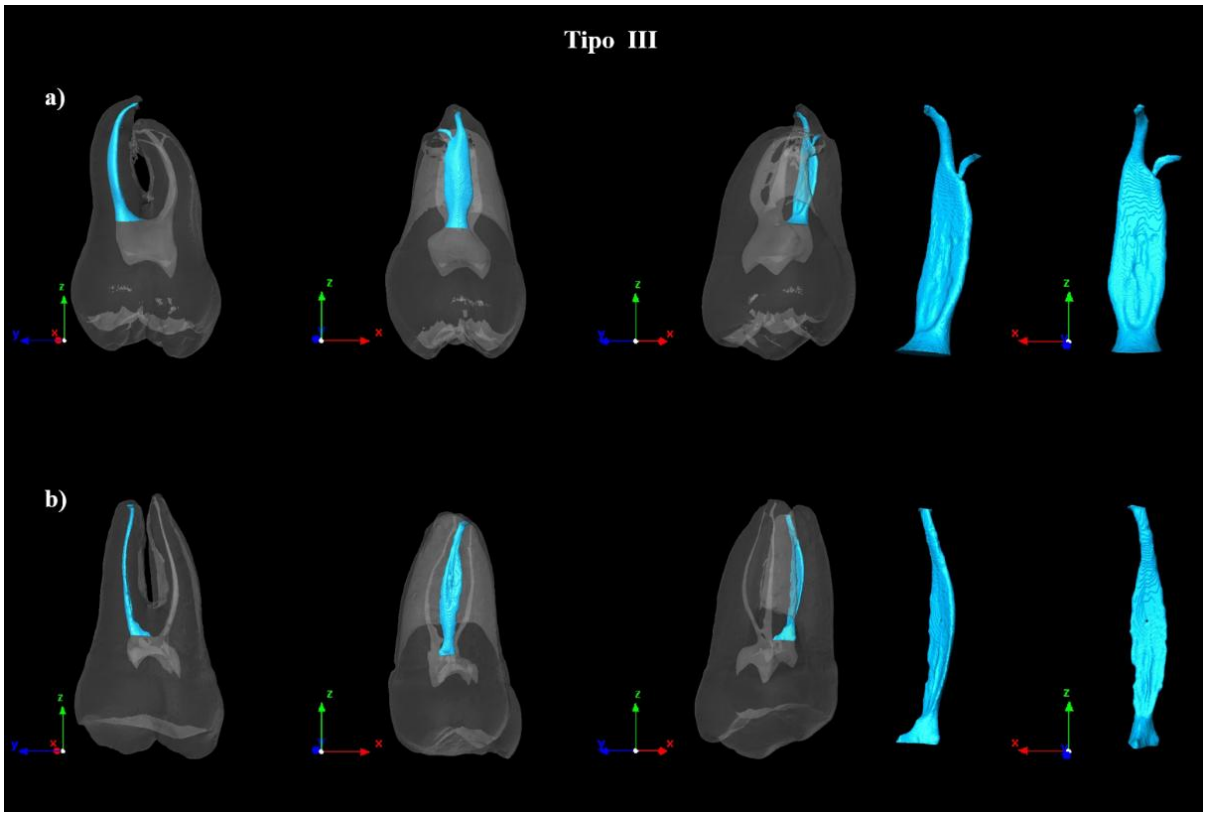

Figura 17. Representação tridimensional de dois molares inferiores a) dente 5 b) dente 24 com configuração radicular correspondente ao Tipo III.

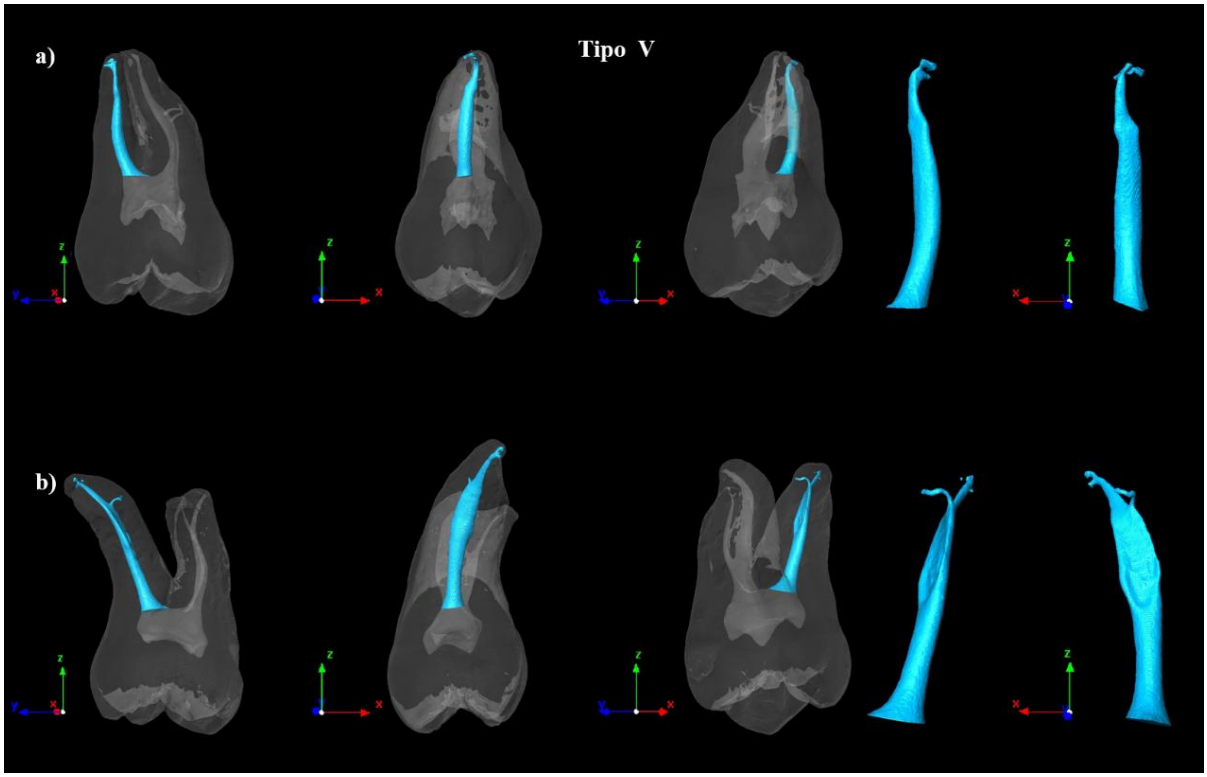

Figura 18. Representação tridimensional de dois molares inferiores a) dente 8 , b) dente 10 com configuração radicular correspondente ao Tipo V.

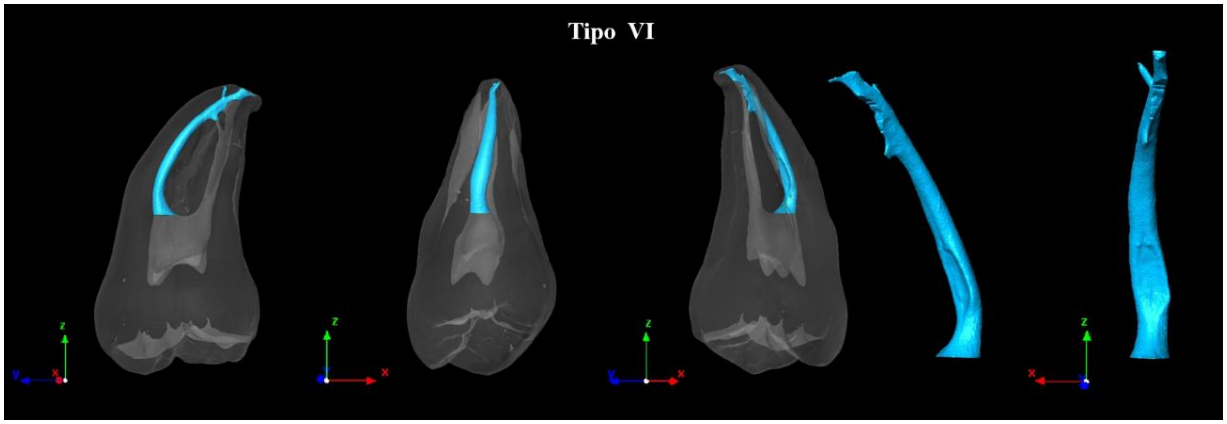

Figura 19. Representação tridimensional do molar inferior, dente 54 com configuração radicular correspondente ao Tipo VI.

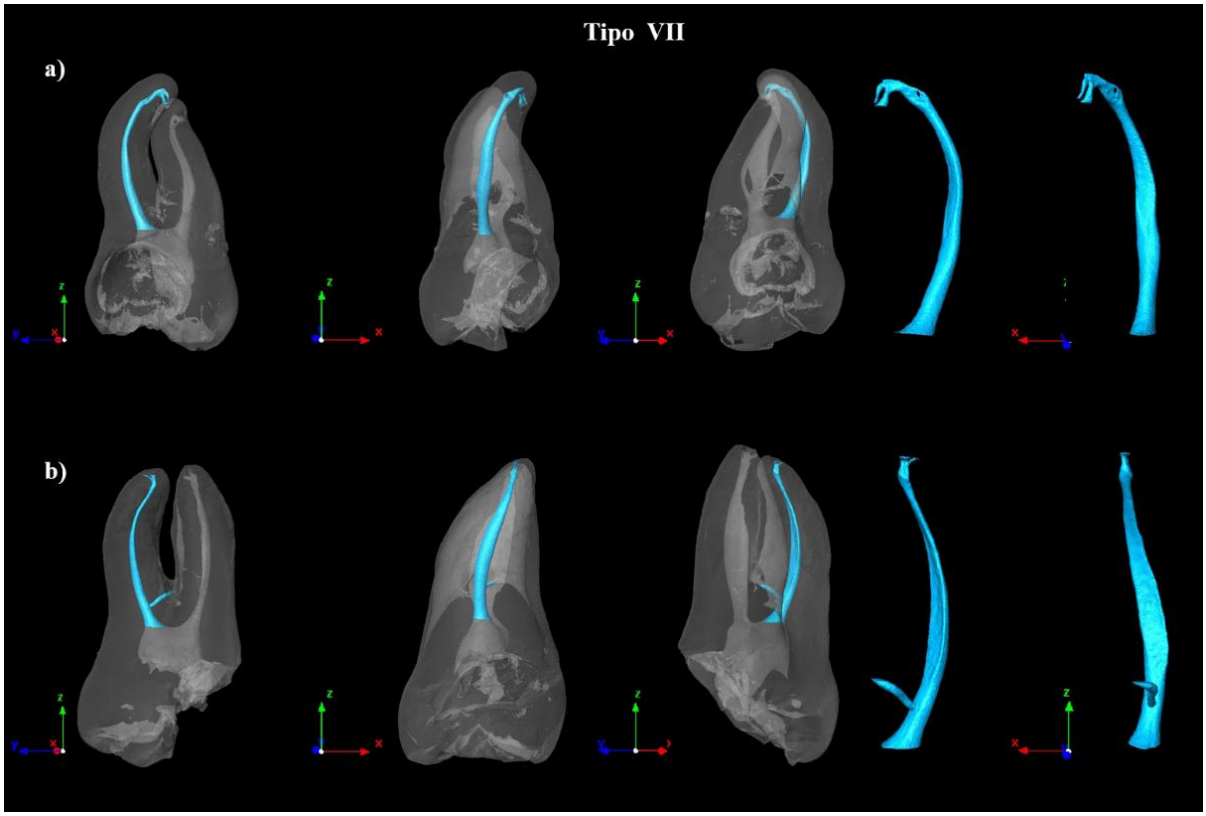

Figura 20. Representação tridimensional de dois molares inferiores a) dente 80, b) dente 95 com configuração radicular correspondente ao Tipo VII.

É importante notar que a anatomia interna radicular é complexa, e essas variações enfatizam a necessidade de uma abordagem com uma compreensão abrangente das potenciais variações anatômicas que podem ser encontradas na prática clínica em Endodontia (Karobari, et al., 2021). A falta de conhecimento pode resultar em canais não localizados, limpeza e modelagem inadequada e em falha do tratamento (Martins, et al., 2020).

Considerando o papel indispensável dos exames de imagem no diagnóstico e no planejamento endodôntico, o uso de métodos tridimensionais tornou-se especialmente relevante. A Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC) é atualmente reconhecida como o padrão ouro na área. Contudo, apresenta limitações relacionadas ao tamanho do voxel e à sua resolução, fatores que podem comprometer a detecção de detalhes anatômicos mais delicados (Martins et al., 2020). Além disso, como os dentes estão circundados por tecido ósseo e outras estruturas, a formação de artefatos é uma ocorrência frequente (Venkatesh; Elluru, 2017). Nesse cenário, a microtomografia computadorizada destaca-se por fornecer imagens de altíssima qualidade, livres de sobreposição de estruturas anatômicas, possibilitando múltiplos tipos de cortes e apresentando níveis de radiação considerados adequados diante dos benefícios diagnósticos oferecidos (LI, 2013; LEE et al., 2015).

De acordo com este estudo, a presença de um único canal foi o achado predominante,

juntamente com configurações complexas de canais radiculares, onde o tipo III foi encontrado nos dentes (10%), seguidos por outros tipos de configuração, conforme mostrado na Tabela 1.

Os resultados obtidos estão de acordo com o que é amplamente descrito na literatura, que aponta prevalências variando entre 50% e 97% (MALUF et al., 2024). De modo semelhante, um estudo utilizando tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) em molares inferiores demonstrou que, de forma geral, a raiz distal apresenta predominância do tipo I de Vertucci (83,14%) (Mantovani et al., 2022). Em nossa amostra, o segundo tipo mais frequente foi o tipo III, o que diverge de estudos que apontam o tipo V como a segunda configuração mais comum, geralmente com prevalência de 27% (Marceliano et al., 2022).

De acordo com a literatura, a configuração interna dos canais radiculares dos molares inferiores varia conforme diferenças populacionais (Vertucci, 2005), variações no tamanho amostral e nos métodos de avaliação como diafanização (Rahimi et al., 2013), tomografia computadorizada de feixe cônico (Lin et al., 2014; Kamtane et al., 2016) e microtomografia computadorizada (Filpo Perez et al., 2015) podem justificar tais discrepâncias.

Alterações anatômicas nas raízes dos dentes humanos são frequentes, e sua ocorrência, distribuição e morfologia podem variar entre diferentes grupos étnicos. Por isso, informações obtidas em uma população nem sempre podem ser aplicadas a outra durante o tratamento endodôntico (Gu et al., 2017). Além disso, conhecer com precisão o comprimento radicular é essencial para evitar possíveis danos durante o tratamento de canal (Gu et al., 2010).

5.1 Diâmetro dos canais e Tamanho das raízes

As características anatômicas radiculares podem variar de acordo com fatores populacionais, faixa etária e, principalmente, a metodologia empregada na avaliação. Na população brasileira analisada neste estudo, o comprimento da raiz, medido da junção cemento-esmalte ao forame apical, apresentou média de 12,36 ± 1,715 mm (Tabela 5). Entretanto, Marceliano et al. (2022) e Theye et al. (2018) reportaram valores distintos, com médias de 16,06 mm e 9,94 ± 0,85 mm, respectivamente. Essas diferenças podem ser atribuídas às variações metodológicas, aos critérios de seleção da amostra e às particularidades populacionais, o que contribui para a divergência dos resultados observados entre os estudos.

Foram estabelecidos os diâmetros maiores e menores do canal distal, medidos por microCT ao longo da raiz: forame, 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm e 6 mm, evidenciando mudanças progressivas na morfologia do canal, como demonstrado na tabela 5.

Tabela 5. Estatísticas descritivas (média ± desvio padrão) das variáveis morfométricas por tipo de molar.

	DMaForame	DMeForame	DMa1mm	DMe1mm	DMa2mm	DMe2mm	DMa3mm	DMe3mm
1MolarInf	0.472 ± 0.267	0.255 ± 0.165	0.596 ± 0.322	0.352 ± 0.179	0.774 ± 0.418	0.450 ± 0.205	0.978 ± 0.473	0.523 ± 0.201
2MolarInf	0.520 ± 0.324	0.274 ± 0.140	0.697 ± 0.411	0.409 ± 0.172	0.842 ± 0.565	0.465 ± 0.238	1.102 ± 0.673	0.559 ± 0.180
Geral	0.485 ± 0.284	0.260 ± 0.158	0.621 ± 0.347	0.366 ± 0.178	0.793 ± 0.462	0.454 ± 0.214	1.014 ± 0.539	0.534 ± 0.195

	DMa4mm	DMe4mm	DMa5mm	DMe5mm	DMa6mm	DMe6mm	Tamanho da Raiz (mm)
1MolarInf	1.187 ± 0.546	0.573 ± 0.216	1.454 ± 0.613	0.649 ± 0.220	1.638 ± 0.685	0.694 ± 0.260	12.361 ± 1.776
2MolarInf	1.253 ± 0.781	0.669 ± 0.226	1.282 ± 0.599	0.725 ± 0.249	1.253 ± 0.508	0.813 ± 0.258	12.378 ± 1.585
Geral	1.205 ± 0.617	0.599 ± 0.222	1.405 ± 0.611	0.671 ± 0.230	1.529 ± 0.661	0.728 ± 0.264	12.366 ± 1.715

No forame, os valores de diâmetro maior e menor foram semelhantes, indicando forma predominantemente circular. A partir de 2–3 mm, porém, observou-se aumento significativo do diâmetro maior, enquanto o diâmetro menor se manteve relativamente constante, resultando em canais mais ovalados e achatados no terço médio (Tabela 5).

Entre 3 e 6 mm, o diâmetro maior superou o diâmetro menor na maioria das vezes em mais do que o dobro (Tabela 5), caracterizando canais ovais longos ou mesmo achatados. Essa morfologia é compatível com a literatura que descreve raízes distais de molares inferiores como estruturas com tendência ao achatamento mesiodistal (Keles A, Yigit A, Keskin C., 2025).

Na comparação entre 1º e 2º molares (Figura 21), os primeiros apresentaram maiores valores de diâmetro maior em todos os níveis, além de maior variabilidade anatômica, enquanto os segundos mostraram valores menores e sem muita variação.

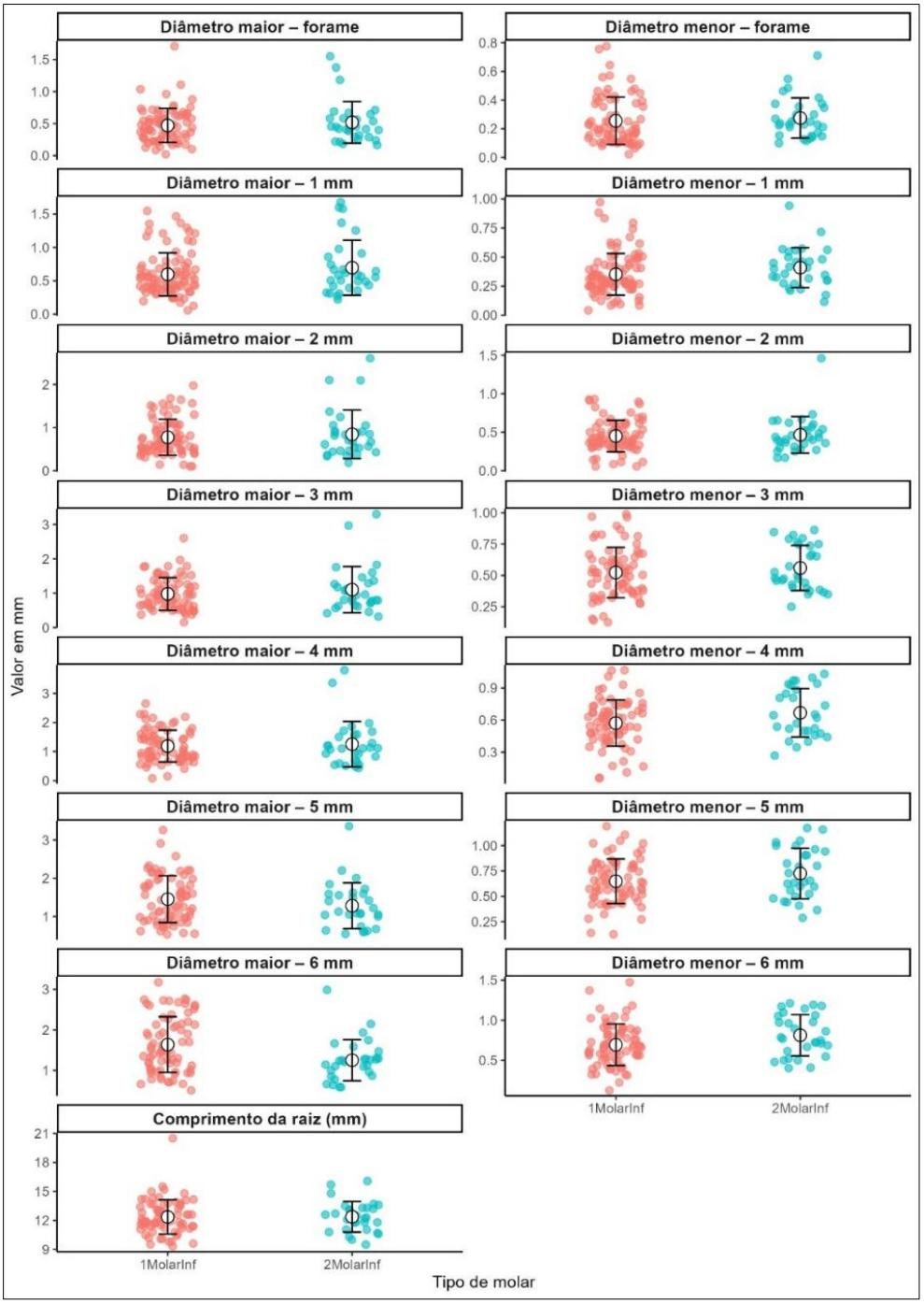

Figura 21. Diâmetros maior e menor do canal radicular em vários níveis da raiz para 1º e 2º molares inferiores.

Um aspecto importante na limpeza dos canais radiculares é o diâmetro. Os valores dos diâmetros maior e menor no terço médio foram em média 1,205±0,617 mm e 0,599±0,222 mm (tabela 4), evidenciando uma configuração de um canal mais estreito. Esses dados tornam-se importante no planejamento do preparo biomecânico, uma vez que a utilização de instrumentos de maior conicidade ou ponta podem levar a iatrogenias (Cesur, 2025; Acharya, 2020).

A presença de canais radiculares achatados representa um desafio adicional durante a

instrumentação, pois sua anatomia dificulta o contato do instrumento com todas as paredes do canal. Além disso, a retenção e o acúmulo de detritos estão diretamente associados às características morfológicas do canal, o que reforça a importância de protocolos de instrumentação individualizada.

O diâmetro médio do forame apical encontrado foi de 0,32 mm (menor) e 0,53 mm (maior). Ao comparar os diâmetros maior e menor obtidos com os valores reportados no estudo de Filpo et al. (2015), observou-se grande semelhança. Os autores relataram diâmetros variando entre 0,73–1,40 mm (maior) e 0,41–0,51 mm (menor), enquanto em nossa análise os valores oscilaram entre 0,47–1,63 mm (maior) e 0,35–0,81 mm (menor), como mostrado na tabela 5. Esses achados corroboram estudos prévios, inclusive em populações distintas (Harris et al., 2013).

Ao comparar os resultados deste estudo com os dados de micro-CT disponíveis em outros grupos de dentes, observa-se que os valores do diâmetro maior (0,62 mm) a 1mm do ápice foram maiores do que nos caninos mandibulares (0,43 mm) por Marceliano Alves MF, et al., 2018 e nos incisivos mandibulares (0,48 mm) por Lima et al. (2020).

A forma do canal principal em 4 mm (Figura 22) influenciou significativamente a maioria das classificações de Vertucci (Tipos II, V, VI e VII; $p < 0.001$). Apenas o Tipo III não apresentou associação estatisticamente significativa ($p > 0.09$).

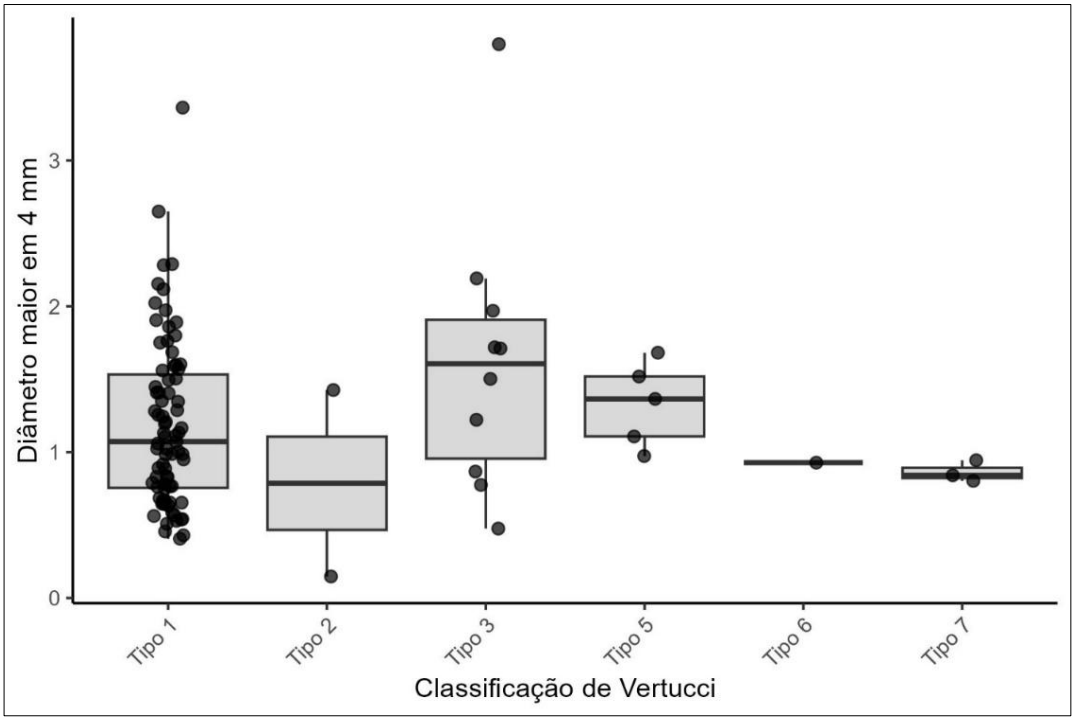

Figura 22. Distribuição do diâmetro maior a 4 mm do ápice radicular entre os diferentes tipos anatômicos da classificação de Vertucci.

A análise não mostrou associação entre o diâmetro maior em 4 mm e os diferentes tipos de Vertucci. Ou seja, não identificamos diferenças significativas entre os grupos ($p = 0.407$).

A relação significativa entre a forma do canal em 4 mm e os tipos de Vertucci (figura 22) reforça a ideia de que a morfologia interna pode estar mais relacionada à configuração do canal do que o diâmetro isolado. A ausência de relação entre diâmetro maior e a classificação de Vertucci indica que dimensões absolutas não são fatores determinantes da complexidade do sistema, achado coerente com estudos que ressaltam o caráter tridimensional e não linear da anatomia endodôntica (Plotino et al., 2017).

5.2 Avaliação da forma dos canais

Os canais foram classificados em circular, oval, oval alongada e achatado, de acordo com a razão entre os diâmetros bucolingual e mesiodistal. Considerou-se a forma do canal redonda quando o diâmetro bucolingual foi igual ou menor que o mesiodistal (razão ≤ 1). A forma oval quando o diâmetro bucolingual maior que o diametro mesiodistal (até duas vezes maior) (razão > 1 e ≤ 2). A oval alongada quando o diâmetro bucolingual foi superior ao mesiodistal em mais de duas até quatro vezes (razão > 2 e ≤ 4) e o achatado foi utilizada para

canais cujo diâmetro bucolingual ultrapassou o mesiodistal em quatro vezes ou mais (razão > 4) (Tikku 2012; Jou, 2003).

A morfologia da secção transversal do forame radicular apresentou ampla diversidade no presente estudo. Foram identificados canais circulares, ovais, oval longa e achatada na raiz distal, sendo a forma oval a de maior predominância (49%), seguida pela forma oval longa (20%). Esses achados corroboram Arfianti et al. (2020), que descrevem a raiz distal dos molares inferiores predominantemente como oval. De maneira semelhante, estudos prévios demonstraram que a morfologia mais comum no terço apical do primeiro molar inferior também é a forma oval (Marceliano et al., 2022; Abarca et al., 2015). A figura 24 apresenta a distribuição da forma do canal radicular em diferentes níveis ao longo da raiz.

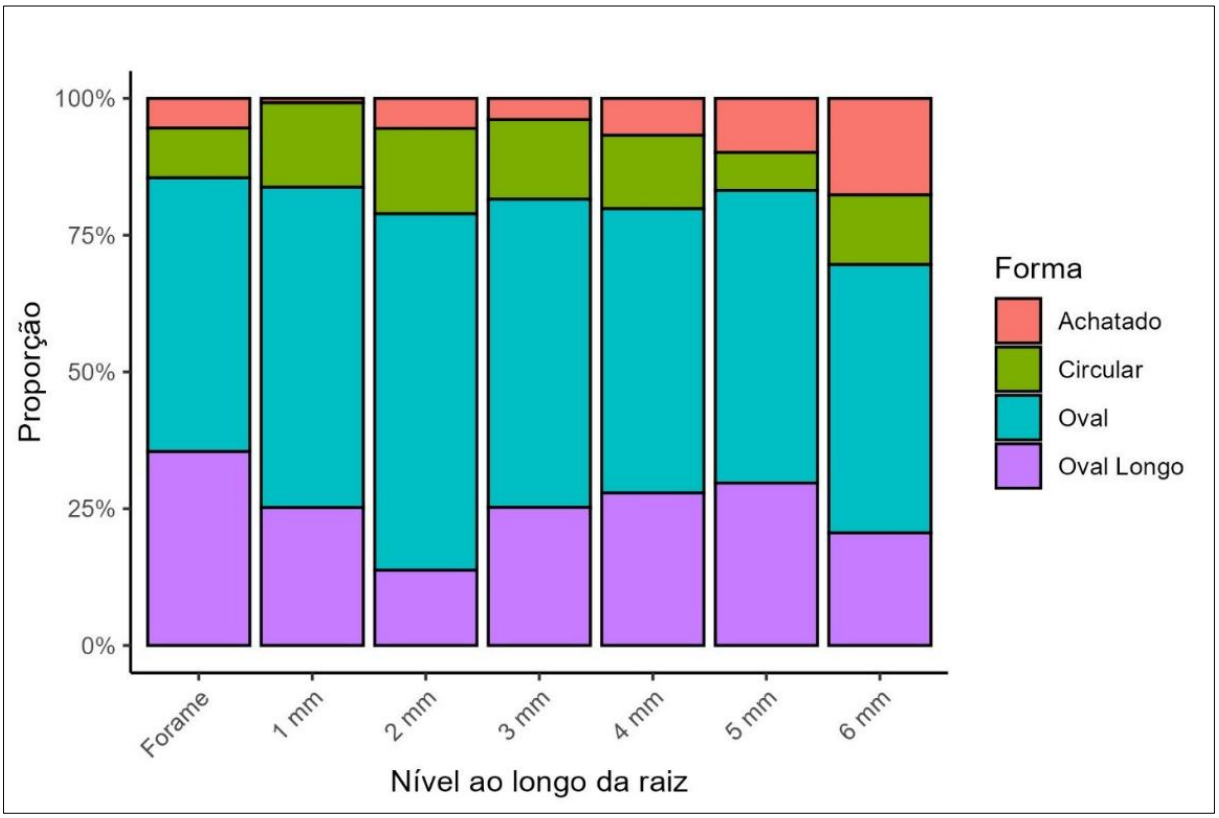

Figura 24. Distribuição da forma do canal radicular em diferentes níveis ao longo da raiz.

A forma Oval predominou em todos os níveis avaliados, variando de 49% a 65% ao longo da raiz, seguida pela oval longa, enquanto circular e achatado foram menos comuns. No forame apical, observou-se maior prevalência das formas oval (50%) e oval longa (35%), enquanto as formas circular e achatada apresentaram menores frequências. Nos níveis de 1 a 3 mm, a forma oval manteve-se dominante. A partir de 4 mm, observou-se discreto aumento da forma oval longa, especialmente em 5 mm (30%). A forma circular apresentou distribuição

relativamente constante ao longo da raiz, variando entre 8% e 15%. Já a forma achatada, embora menos prevalente nos níveis apicais, apresentou aumento progressivo em direção ao terço cervical, alcançando aproximadamente 18% no nível de 6 mm. Esses achados corroboram com os de Saber et al. (2023). A presença de anatomia oval influencia negativamente o preparo, especialmente devido a recessos vestibulares e linguais que dificultam a ação dos instrumentos e podem abrigar tecido orgânico residual, favorecendo a persistência microbiana (Paes et al., 2014).

As diferenças observadas entre os resultados deste estudo e os de investigações anteriores podem ser atribuídas, principalmente, às metodologias empregadas para a determinação da forma do canal radicular. Estudos que utilizaram instrumentos ópticos, como estereomicroscópios, relataram perda de detalhes anatômicos decorrente do desgaste das amostras durante o processo de corte (Sanjai et al., 2021). Da mesma forma, pesquisas conduzidas por meio de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) apresentam limitações relacionadas ao desfoque e à dispersão da imagem, decorrentes das características do voxel e de artefatos inerentes ao método (Mantovani, 2022). Em contraste, no presente estudo empregou-se microtomografia computadorizada, que permite avaliação de alta resolução, proporcionando maior acurácia na representação morfológica do canal radicular.

Durante os procedimentos de limpeza e modelagem, é imprescindível que os instrumentos entrem em contato com todas as paredes do canal, a fim de remover detritos e microrganismos remanescentes. Essa necessidade torna-se ainda mais crítica em canais não circulares, nos quais áreas de difícil acesso podem comprometer a eficácia da instrumentação. Assim, a avaliação cuidadosa da morfologia e a adaptação das técnicas de preparo são medidas indispensáveis para garantir adequada descontaminação do canal radicular e o selamento eficaz do mesmo.

Nos dentes com segmentação completa do canal principal, observamos entre 0 e 5 mudanças de forma ao longo da raiz (média = 2.04; DP = 1.27), o histograma da distribuição de mudanças de forma ao longo da raiz está apresentado na figura 25.

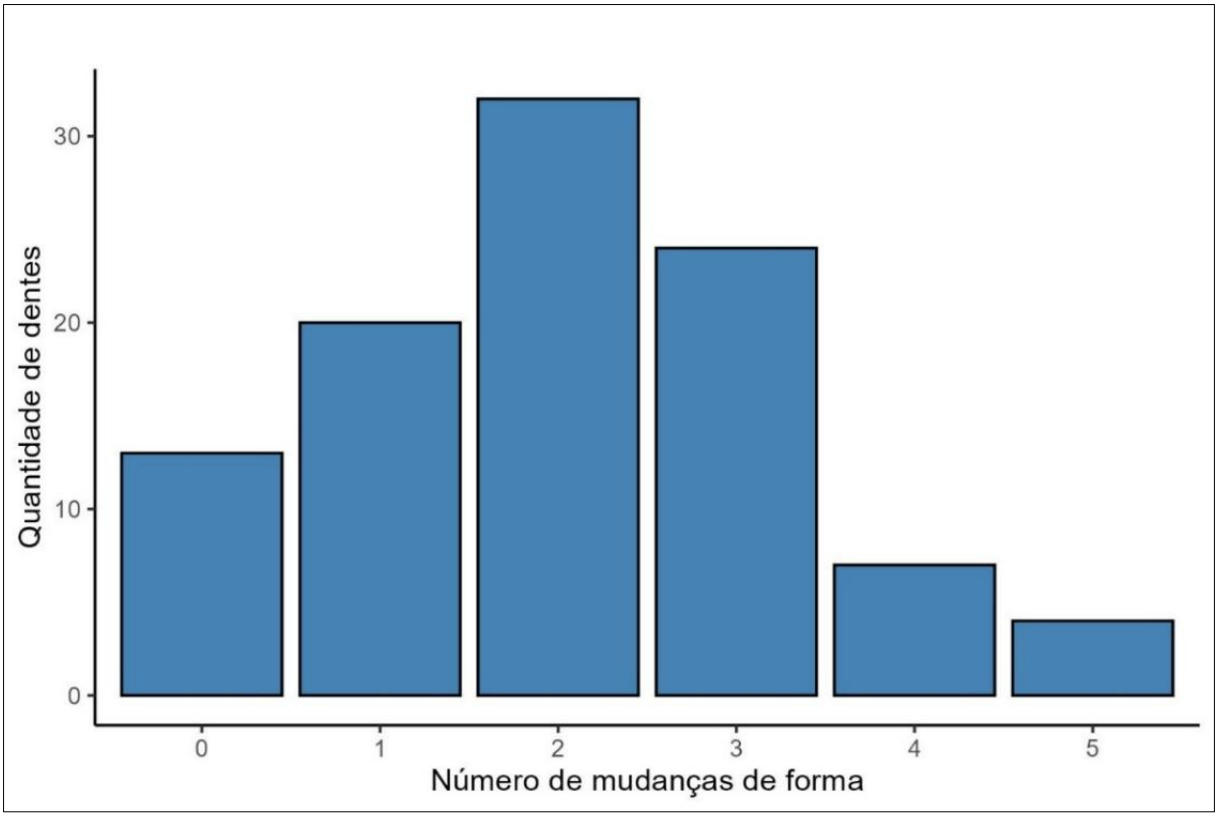

Figura 25. Distribuição de mudanças de forma ao longo da raiz.

A análise das mudanças de forma ao longo da raiz distal demonstrou que a maioria dos dentes apresentou variações morfológicas entre os níveis avaliados. Apenas uma pequena proporção manteve a morfologia (13%). O padrão mais frequente foi a mudança de 2 formas (22,4%). Mudanças maiores, com quatro e cinco alterações ao longo da raiz, foram menos comuns (aproximadamente 7% e 4%).

A elevada ocorrência de alterações morfológicas ao longo do canal radicular evidencia um sistema anatômico dinâmico e complexo. Achado semelhante ao descrito por Versiani et al. (2013), que utilizando microtomografia de alta resolução, identificaram múltiplas transições morfológicas em molares inferiores. O canal radicular muda de forma durante seu trajeto até o ápice, e essa variabilidade tem impacto direto na eficácia da instrumentação. Além disso, as variações na geometria da seção transversal do canal radicular representam desafios adicionais para o preparo, pois regiões estreitas ou achatadas tendem a limitar o contato dos instrumentos com as paredes do canal, favorecendo áreas não instrumentadas (De-deus et al., 2019; Sousa Neto et al. 2018; Lacerda et al., 2017).

Razumova et al., (2020) demonstaram que a forma do canal radicular se altera em dois casos, na presença de um ou mais canais na raiz (com ou sem istmo entre eles) e em função da idade. Os autores observaram que com o envelhecimento, a secção transversal tende a assumir

um formato mais arredondado, especialmente no terço apical. Nos molares mandibulares, verificou-se ainda uma expressiva variabilidade morfológica na forma da secção transversal tanto das raízes distais quanto das mesiais, reforçando a complexidade desses sistemas radiculares.

Um estudo de microtomografia computadorizada realizado por Arfianti et al., (2020), teve como objetivo estudar a prevalência de variações transversais no terço apical dos canais radiculares em dentes maxilares e mandibulares. Nos primeiros molares inferiores, observou-se na raiz distal, forma oval em 68,4%, oval alongado em 21,1% e achatado em 10,5%.

Esses resultados indicam que a morfologia da raiz distal apresente um comportamento com alta variação, mostrando diversas transições entre as formas ao longo do canal. Isso mostra o quanto complexo é a anatomia do dente e reforça a importância de técnicas de preparo capazes de lidar com variações morfológicas. Essa grande variação de forma pode reduzir a eficiência do tratamento endodôntico, aumentando a presença de áreas não tocadas durante a instrumentação, principalmente nos níveis em que o canal assume morfologia oval longa ou achatada. Assim, a identificação dessas variações é fundamental para compreender os desafios clínicos relacionados ao preparo de raízes distais achatadas e devem ser levadas em consideração para a escolha da técnica adequada de limpeza e modelagem.

5.3 Análises pré e pós instrumentação

Os resultados quantitativos obtidos a partir das análises pré e pós-instrumentação são apresentados a seguir. Esses valores permitem comparar as alterações morfológicas do canal radicular após o preparo, incluindo volume, áreas não tocadas, SMI e volume de *debris*. A tabela 6 sintetiza todos os parâmetros avaliados.

Tabela 6. Valores quantitativos dos parâmetros morfológicos pré e pós-instrumentação.

Amostras	**Volume do Canal ($mm^{3)}$**		**Áreas Não Tocadas (mm^2)**	**SMI**		**DEBRIS (mm^3)**	
	Antes	**Depois**		**Antes**	**Depois**	**Antes**	**Depois**
Dente 73	9,752	13,862	57,873	0.206	2,690	0,35	0,23
Dente 84	7,179	8,419	42,337	1,296	1,511	0,01	0,03
Dente 79	5,337	10,423	47,392	1,414	2,184	0,27	0,005

Dente 83	8,877	11,309	47,992	0,775	2,196	0,81	0,16
Dente 85	5,228	9,490	41,730	1,191	2,791	0,157	0,02
Dente 75	9,222	13,781	67,326	1,042	2,328	0,125	0,04
Dente 88	9,363	12,080	50,657	-0,283	2,245	0,57	0,02
Dente 89	6,592	7,616	35,639	1,933	2,295	0,008	0,002

O achatamento dos canais radiculares representa um desafio para a realização de um tratamento endodôntico eficaz (Rivera-peña, 2019). Nas raízes distais de molares inferiores, aproximadamente 17,6% dos canais apresentaram forma achatada na região dos 6 mm apicais no presente estudo. A escolha desse segmento para a análise se justifica por ser a porção em que a morfologia mais influencia a dinâmica do preparo e da desinfecção, além de fornecer um volume representativo para o cálculo do stucture Model Index (SMI). O SMI permite avaliar a geometria tridimensional do canal e sua tendência ao achatamento ou circularidade, sendo particularmente sensível às alterações estruturais dessa região crítica. Nesses casos, o preparo mecânico com instrumentos de NiTi tende a promover um desgaste mais centralizado, resultando em menor ação nas áreas de maior extensão vestíbulo-lingual. Essa limitação compromete tanto a desinfecção quanto o adequado selamento tridimensional do sistema de canais radiculares (Vasconcelos et al., 2017, Pereira et al., 2017; Celikten et al., 2016)

A fim de complementar a análise quantitativa e fornecer uma representação visual das mudanças induzidas pelo preparo, as figuras 25 a 32 apresentam as reconstruções 3D do canal radicular antes e após a instrumentação. Essas visualizações permitem identificar, de maneira comparativa, as regiões modificadas e a manutenção da geometria original do canal.

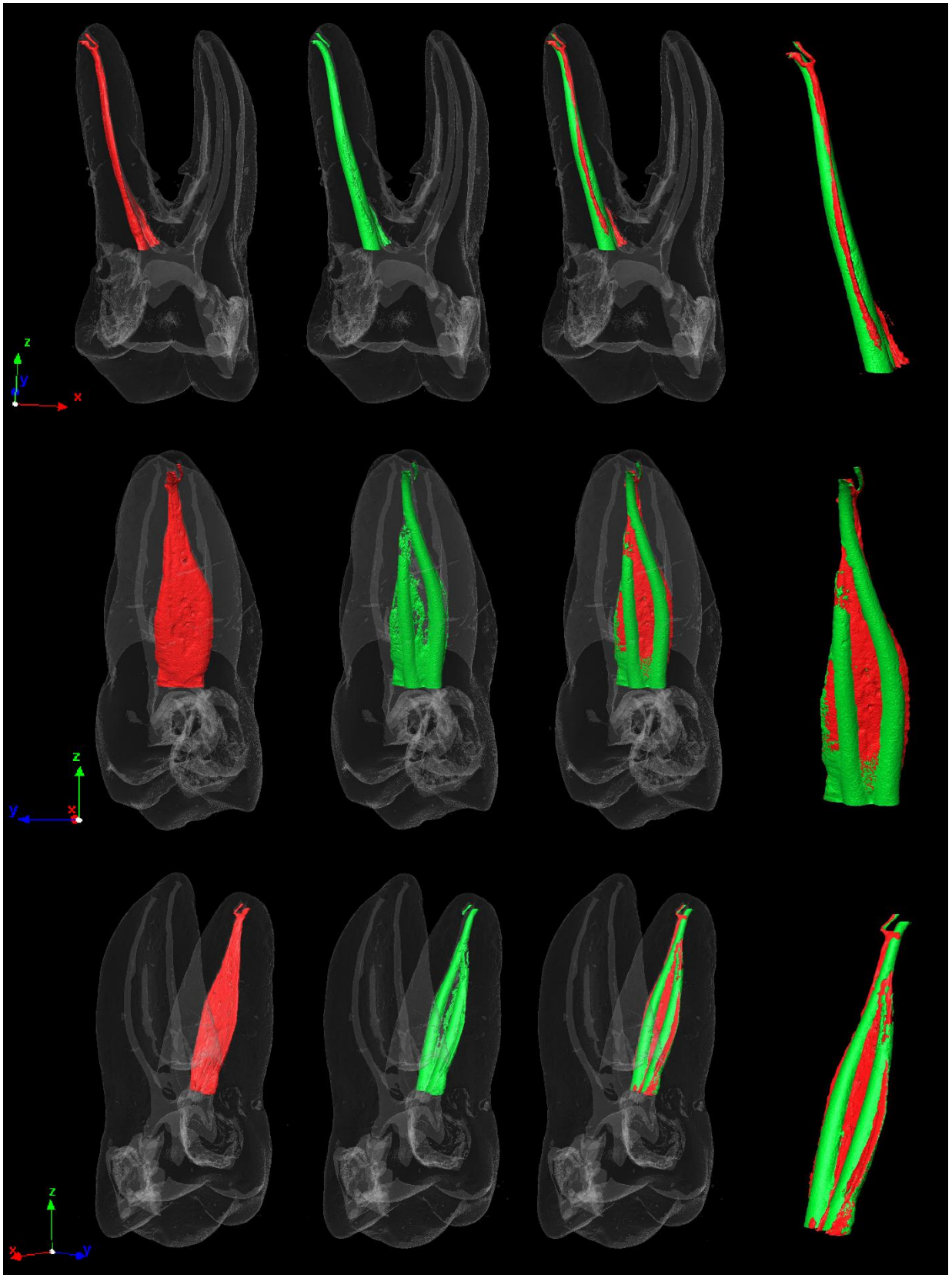

Figura 25. Representação tridimensional do dente 73, evidenciando o canal radicular antes da instrumentação (em vermelho) e após a instrumentação (em verde), permitindo visualizar as alterações morfológicas promovidas pelo preparo.

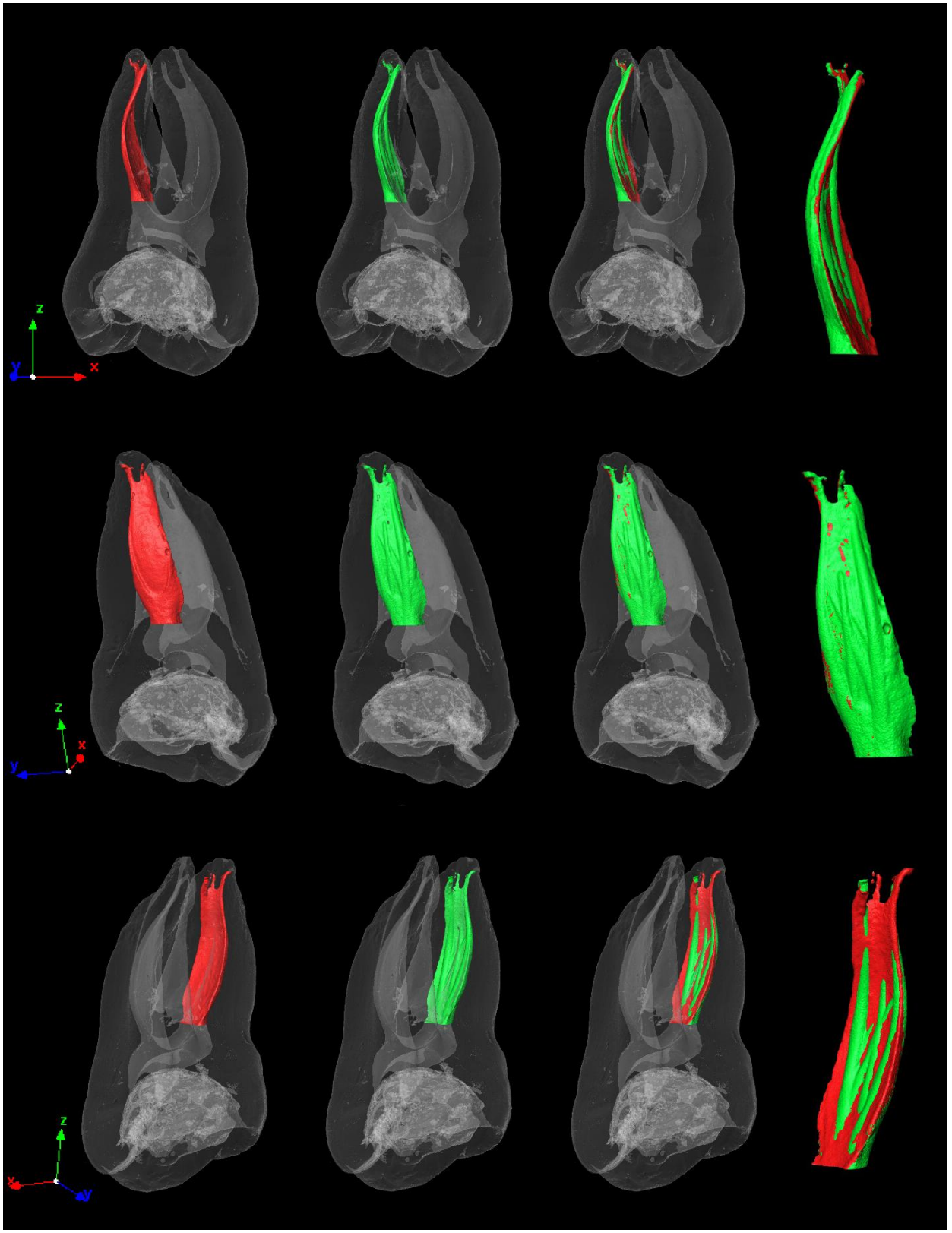

Figura 26. Representação tridimensional do dente 84, evidenciando o canal radicular antes da instrumentação (em vermelho) e após a instrumentação (em verde), permitindo visualizar as alterações morfológicas promovidas pelo preparo.

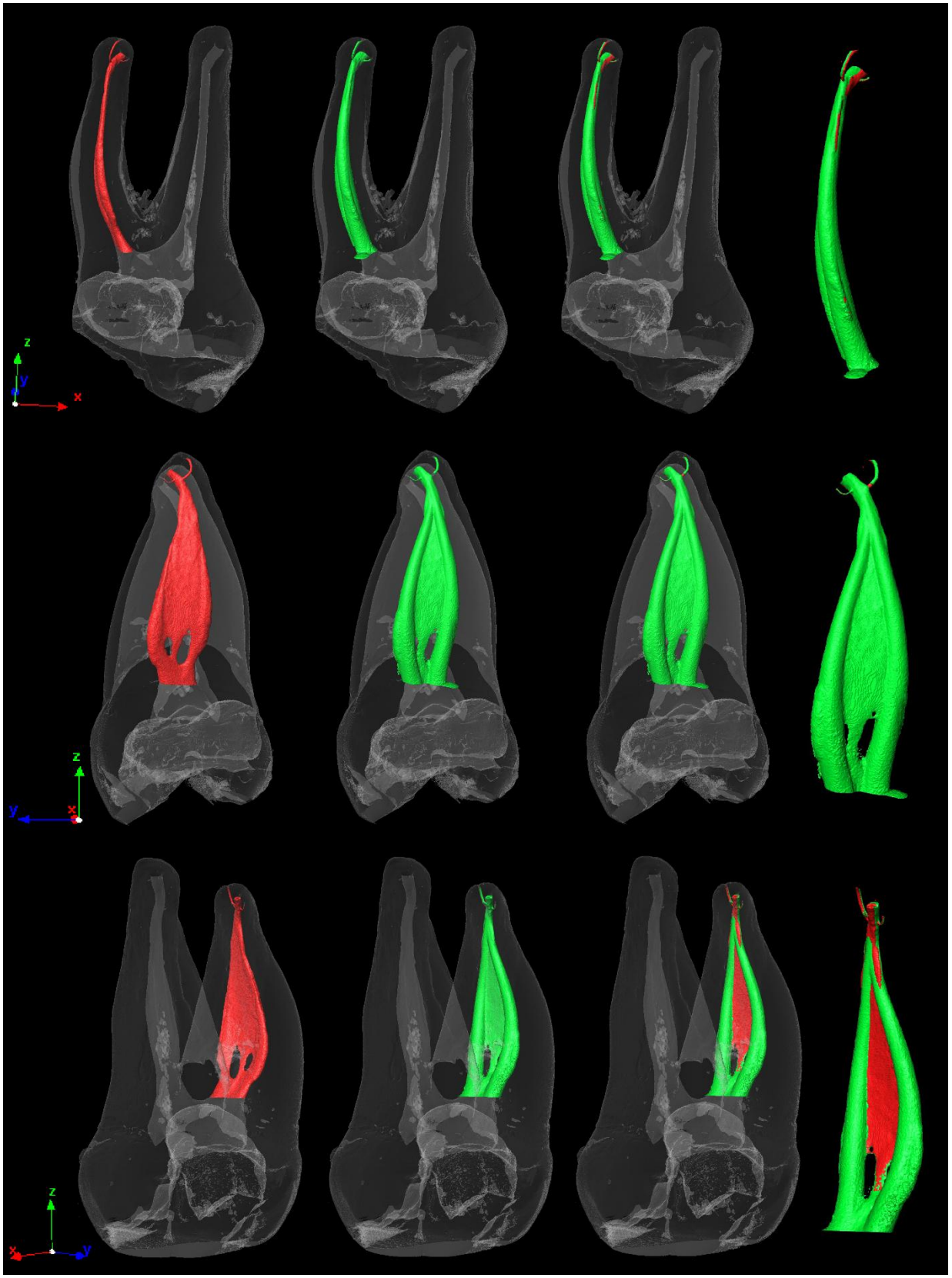

Figura 27. Representação tridimensional do dente 79, evidenciando o canal radicular antes da instrumentação (em vermelho) e após a instrumentação (em verde), permitindo visualizar as alterações morfológicas promovidas pelo preparo.

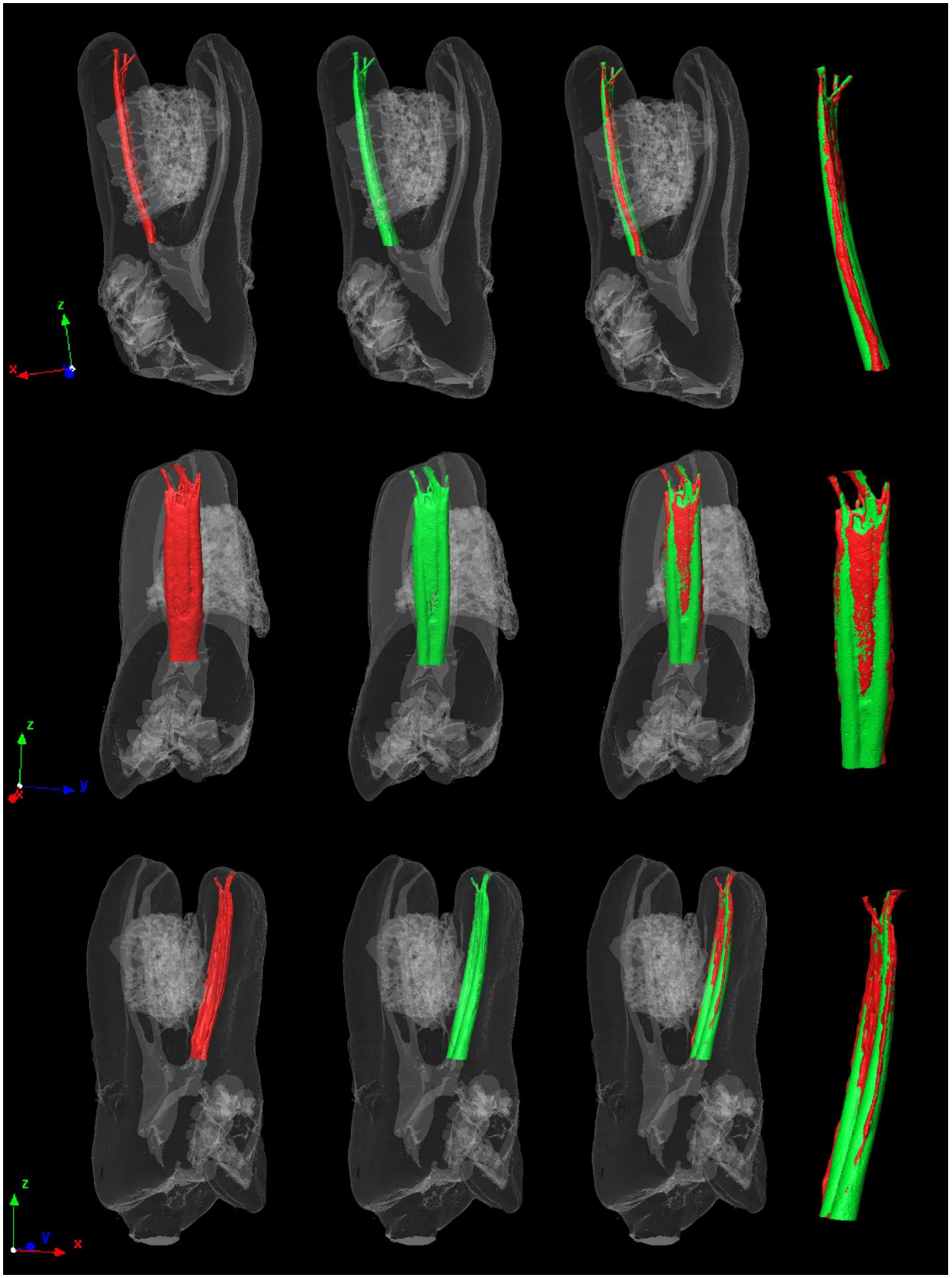

Figura 28. Representação tridimensional do dente 83, evidenciando o canal radicular antes da instrumentação (em vermelho) e após a instrumentação (em verde), permitindo visualizar as alterações morfológicas promovidas pelo preparo.

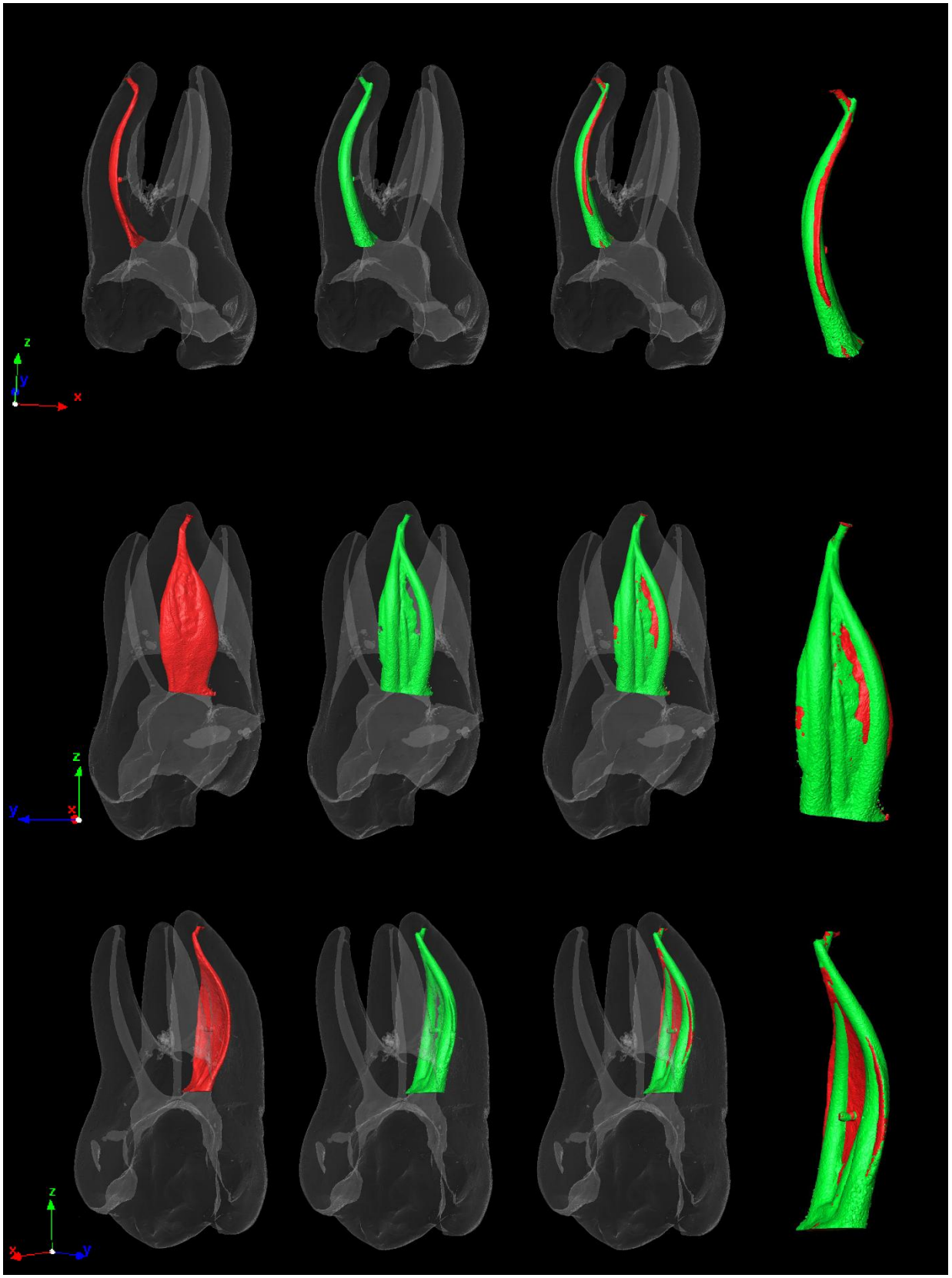

Figura 29. Representação tridimensional do dente 85, evidenciando o canal radicular antes da instrumentação (em vermelho) e após a instrumentação (em verde), permitindo visualizar as alterações morfológicas promovidas pelo preparo.

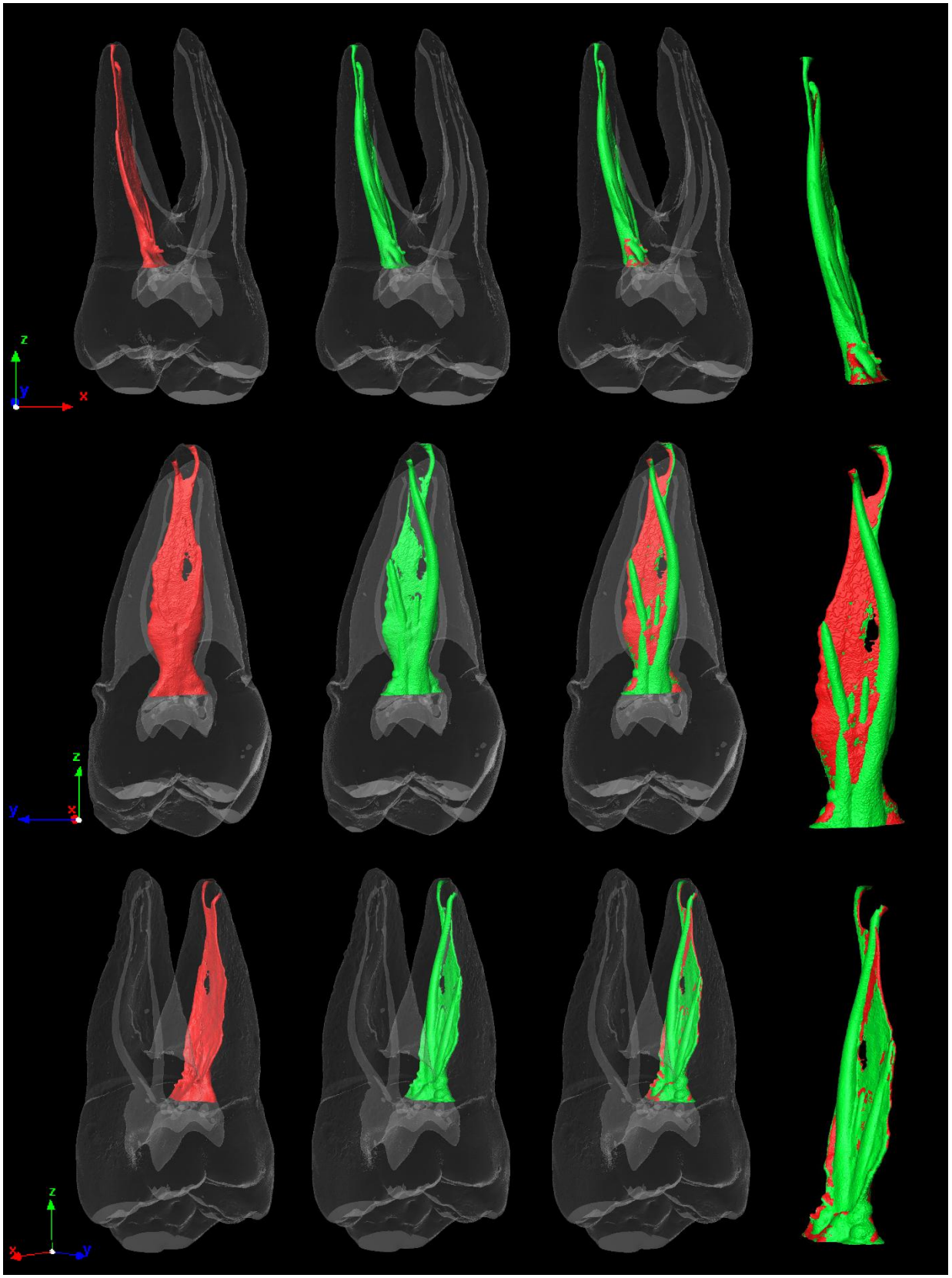

Figura 30. Representação tridimensional do dente 75, evidenciando o canal radicular antes da instrumentação (em vermelho) e após a instrumentação (em verde), permitindo visualizar as alterações morfológicas promovidas pelo preparo.

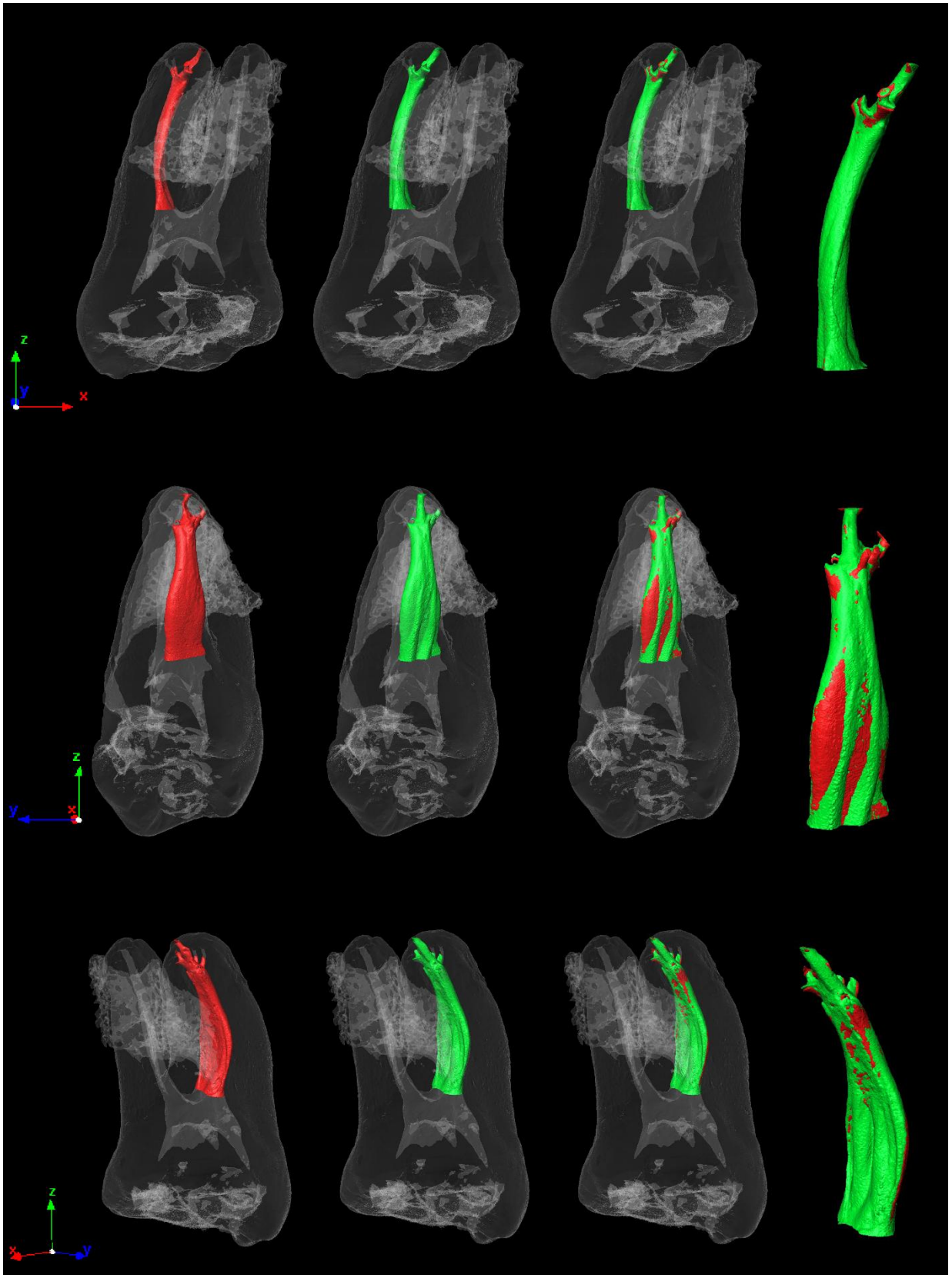

Figura 31. Representação tridimensional do dente 88, evidenciando o canal radicular antes da instrumentação (em vermelho) e após a instrumentação (em verde), permitindo visualizar as alterações morfológicas promovidas pelo preparo.

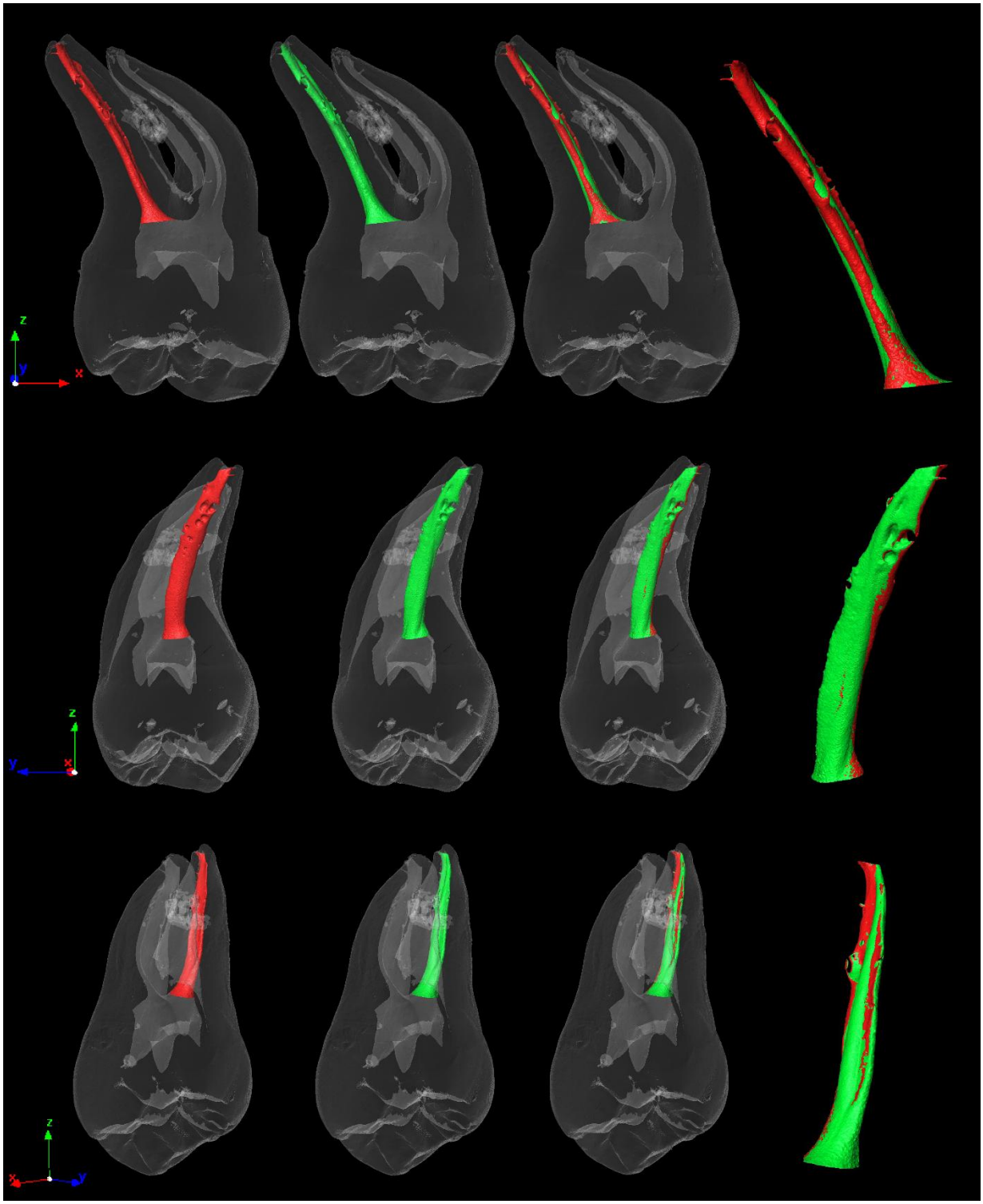

Figura 32. Representação tridimensional do dente 89, evidenciando o canal radicular antes da instrumentação (em vermelho) e após a instrumentação (em verde), permitindo visualizar as alterações morfológicas promovidas pelo preparo.

5.3.1 Volume do canal

O volume do canal aumentou de forma significativa após a instrumentação (t = 5.81; p

= 0.0007), como mostrado no gráfico da figura 33. Em média, o volume aumentou 3.18 mm³ após o preparo, em comparação com o antes (7.94 ± 1.76) e o depois (10.87 ± 2.28).

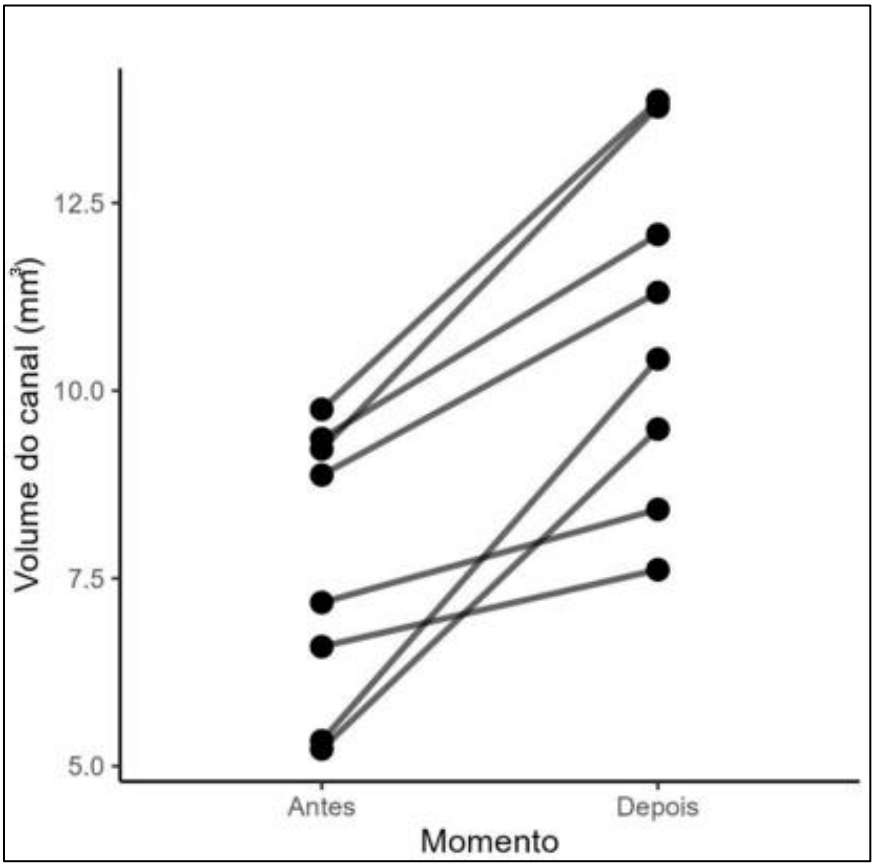

Figura 33. Volume do canal antes e após a instrumentação.

Os achados de Santos Júnior (2020) estão em concordância com os resultados observados no presente estudo. Assim como verificado em nossa análise, o autor também descreveu um aumento significativo do volume dos canais distais após a instrumentação, mesmo em anatomias achatadas. Em ambos os trabalhos, a instrumentação mecanizada promoveu expansão volumétrica mensurável, evidenciando que instrumentos de NiTi, mesmo em canais com grande extensão vestíbulo-lingual, promovem aumento volumétrico consistente, embora ainda possam deixar áreas não instrumentadas devido ao achatamento característico desses canais.

5.3.2 *Debris*

A quantidade de *debris* diminuiu significativamente após a instrumentação (t = –2.54; p = 0.038), como demonstrado no gráfico da figura 34. Houve uma redução média de 0.224

unidades de *debris*, em comparação com o antes (0.287 ± 0.265) e o depois (0.076 ± 0.078).

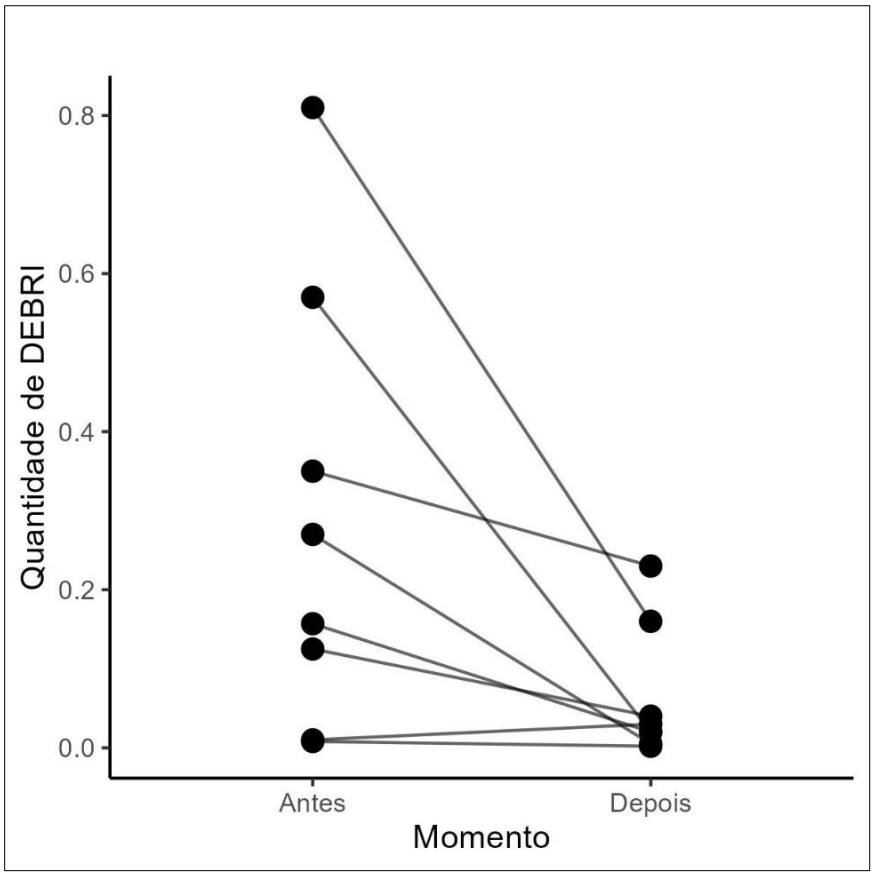

Figura 34. Quantidade de *debris* antes e após a instrumentação.

Os resultados do preparo mecânico demonstraram aumento significativo do volume do canal e redução de *debris*, compatível com estudos que avaliam eficácia de sistemas mecanizados modernos (Peters et al., 2010; Amoroso-Silva et al., 2020). No entanto, mesmo com resultados positivos, a persistência de morfologias ovais longas e achatadas sugere que técnicas de ativação de irrigantes permanecem fundamentais para otimizar a limpeza de áreas não instrumentadas.

Os resultados demonstraram baixos percentuais de *debris* remanescentes após o preparo com o sistema Reciproc Blue, bem como valores reduzidos de superfície não instrumentada (Tabela 6). Ainda que discretos, esses índices têm relevância clínica, pois regiões que permanecem não tocadas ou com acúmulo de detritos podem abrigar microrganismos e favorecer a reinfecção do sistema de canais radiculares (Iglecias, 2017; Küçükkaya Eren, Örs, Yilmaz, 2017). Diante disso, a instrumentação de canais com morfologia complexa, como os canais distais achatados de molares inferiores, pode ser otimizada pela combinação de instrumentos mecanizados de NiTi com ativação ultrassônica, ampliando o alcance das paredes internas.

Entretanto, deve-se considerar que a remoção mais extensa de dentina, apesar de favorecer a limpeza, pode reduzir a resistência estrutural do dente, tornando-o mais suscetível à fratura. A utilização do microscópio cirúrgico operatório contribuiu para um desgaste mais seletivo e direcionado, permitindo que o preparo fosse conduzido no sentido do achatamento radicular, minimizando remoções desnecessárias de dentina.

Os achados reforçam que a raiz distal dos molares inferiores apresenta alta variabilidade morfológica, predominância de formas ovais, frequente achatamento mesiodistal e várias transições de forma, fatores que impactam diretamente a qualidade do preparo e potencializam a importância de abordagens complementares à instrumentação convencional.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

A análise anatômica revelou que a morfologia do tipo I, segundo a classificação de Vertucci, foi a mais prevalente nas raízes distais, seguida dos tipos III e V. Apesar da predominância do tipo I, foram observadas variações anatômicas complexas, reforçando a importância do conhecimento aprofundado da morfologia interna para o planejamento e execução do tratamento endodôntico.

A avaliação pré e pós-instrumentação demonstrou que o sistema Reciproc Blue R25 promoveu aumento significativo do volume do canal radicular, redução do volume de *debris* e uma tendência à regularização geométrica, refletida pelo aumento dos valores de Structure Model Index (SMI). Esses resultados confirmam que o Reciproc Blue apresenta desempenho satisfatório e seguro para o preparo de canais distais de molares inferiores, promovendo alterações volumétricas significativas e redução de *debris*, embora não seja capaz de preparar integralmente todas as superfícies internas do canal.

A microtomografia computadorizada reafirma-se como método de escolha para avaliação morfológica e para investigação da qualidade do preparo endodôntico, contribuindo para o desenvolvimento de técnicas cada vez mais eficazes e seguras.

Para pesquisas futuras, sugere-se ampliar o número de espécimes instrumentados, comparar diferentes sistemas reciprocantes e rotatórios em raízes achatadas, assim como investigar o impacto de protocolos de ativação da irrigação na redução de áreas não tocadas e de *debris* remanescentes. Esses avanços poderão auxiliar na otimização das estratégias clínicas voltadas ao tratamento de anatomias radiculares complexas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, F. R. et al. Removal of root canal fillings in curved canals using either reciprocating single- or rotary multi-instrument systems and a supplementary step with the XP-Endo Finisher. Journal of Endodontics, v. 42, n. 7, p. 1114-1119, 2016. DOI: 10.1016/j.joen.2016.04.007.

ALVES, F. R. F. et al. Adjunctive steps for disinfection of the mandibular molar root canal system: a correlative bacteriologic, micro-computed tomography, and cryopulverization approach. Journal of Endodontics, v. 42, p. 1667-1672, 2016.

ALVES, F. R. F. et al. Bacteria and hard tissue debris extrusion and intracanal bacterial reduction promoted by XP-endo Shaper and Reciproc instruments. *Journal of Endodontics*, v. 44, p. 1173-1178, 2018.

ACHARYA N, HASAN MR, KAFLE D, CHAKRADHAR A, SAITO T. Effect of Hand and Rotary Instruments on the Fracture Resistance of Teeth: An In Vitro Study. Dent J (Basel), v.8, n.2, p.38. apr. 2020. DOI: 10.3390/dj8020038.

ABARCA J, ZAROR C, MONARDES H, HERMOSILLA V, MUÑOZ C, CANTIN M. Morphology of the physiological apical foramen in maxillary and mandibular first molars. Int J Morphol, 32(2):671-7, 2015.

ARFIANTI, R. P.; ARTININGSIH, D. A. N. P.; NAZAR, K. Variations in the cross-sectional shape of the apical thirds of the root canals in maxillary and mandibular teeth. Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada, v. 20, p. e5696, 2020. DOI: 10.1590/pboci.2020.142.

ALSDURRANI, A. et al. Evaluation of shaping ability of glide path instruments: a micro-CT study. BMC Oral Health, v. 22, 2022.

ALAK, S. G. et al. Age-related changes in the morphology of the root canal system of mandibular first molars: a micro-CT study. *Clinical Oral Investigations*, v. 27, n. 8, p. 4667-4675, 2023. DOI: 10.1007/s00784-023-05093-0.

BUCHANAN, Glynn D. et al. Root and canal morphology of the permanent anterior dentition in a Black South African population using cone-beam computed tomography and two classification systems. Journal of Oral Science, v. 64, n. 3, p. 218-223, 2022. DOI: 10.2334/josnusd.22-0027.

BELLADONNA, F. G. et al. Micro-computed tomography shaping ability assessment of the new blue thermal treated reciproc instrument. Journal of Endodontics, v. 44, p. 1146-1150, 2018. DOI: 10.1016/j.joen.2018.03.008.

BRISEÑO-MARROQUÍN, B. et al. Root canal morphology and configuration of 179 maxillary first molars by means of micro–computed tomography: an ex vivo study. Journal of Endodontics, v. 41, n. 12, p. 2008-2013, 2015.

CELIKTEN B, UZUNTAS CF, ORHAN AI, ORHAN K, TUFENKCI P, KURSUN S et al. Evaluation of root canal sealer filling quality using a single-cone technique in oval shaped

canals: an in vitro Micro-CT study. Scanning., 38(2): 133-40, 2016.

CNUDDE, V.; BOONE, M. N. High-resolution X-ray computed tomography in geosciences: a review of the current technology and applications. Earth-Science Reviews, v. 123, p. 1-17, 2013.

COTTON, T. P. et al. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. Journal of Endodontics, v. 33, p. 1121-1132, 2007.

CESUR, Y., ASKERBEYLI ÖRS, S., SERPER, A. *et al.* The effect of nickel-titanium rotary systems on the biomechanical behavior of mandibular first molars with curved and straight mesial roots: a finite element analysis study. BMC Oral Health 25, 1373, 2025. https://doi.org/10.1186/s12903-025-06739-z

DA SILVA, E. J. N. L.; MOURA, S. G.; LIMA, C. O.; BARBOSA, A. F. A.; MISAEL, W. F.; LACERDA, M. F. L. S.; SASSONE, L. M. Shaping ability and apical debris extrusion after root canal preparation with rotary or reciprocating instruments: a micro-CT study. Restorative Dentistry & Endodontics, v. 46, n. 2, p. e16, 2021.

DE-DEUS, G. et al. Micro-computed tomographic assessment on the shaping ability of a new single-file reciprocating system. Journal of Endodontics, v. 36, n. 1, p. 67-70, 2010.

DE-DEUS, G. et al. Micro-computed tomographic assessment on the effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive Systems on dentinal cracks. Journal of Endodontics, v. 41, n. 7, p. 1116-1119, 2015.

DE-DEUS, G. et al. Blue thermomechanical treatment optimizes fatigue resistance and flexibility of the reciproc files. Journal of Endodontics, v. 43, p. 462-466, 2017a.

DUQUE, J. A. et al. Effect of larger apical size on the quality of preparation in curved canals using reciprocating instruments with different heat thermal treatments. International Endodontic Journal, 2019.

DE-DEUS, G. et al. Micro-CT comparison of XP-endo Finisher and passive ultrasonic irrigation as final irrigation protocols on the removal of accumulated hard-tissue debris from oval-shaped canals. Clinical Oral Investigations, v. 23, n. 7, p. 3087-3093, 2019.

DE KM, et al. Comparative analysis of accessory mesial canal identification in mandibular first molars by using four different diagnostic methods. Journal of Endodontics, v. 38, p. 436-444, 2012.

FELDKAMP, L. A.; DAVIS, L. C.; KRESS, J. W. Practical cone-beam algorithm. Journal of the Optical Society of America, v. 1, p. 612-619, 1984.

FILPO-PEREZ, C.; BRAMANTE, C. M.; VILLAS-BOAS, M. H.; DUARTE, M. A. H.; VERSIANI, M. A.; ORDINOLA-ZAPATA, R. Micro-computed tomographic analysis of the root canal morphology of the distal root of mandibular first molar. Journal of Endodontics, v. 41, n. 2, p. 231-236, 2015. DOI: 10.1016/j.joen.2014.09.024.

FILIZOLA, O. D. J et al. Changes in geometry and transportation of root canals with severe

curvature prepared by different heat-treated nickel-titanium instruments: a micro–computed tomographic study. Journal of Endodontics, 2019.

FERNANDES, P. G. Aplicação da microtomografia computadorizada para a análise morfométrica bi e tridimensional na avaliação da perda óssea experimental em ratos. 2014. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, USP, Ribeirão Preto.

FESER, M. et al. Sub-micron resolution CT for failure analysis and process development. Measurement Science and Technology, v. 19, p. 1-8, 2008.

GENERALI, L. et al. Mechanical properties and metallurgical features of new and ex vivo used reciproc blue and reciproc. International Endodontic Journal, 2019.

GU, Y.; LU, Q.; WANG, P.; NI, L. Root canal morphology of permanent three-rooted mandibular first molars: Part II—measurement of root canal curvatures. Journal of Endodontics, v. 36, n. 8, p. 1341-1346, 2010.

GU, Y. et al. Measurement of root surface area of permanent teeth in a Chinese population. Archives of Oral Biology, v. 81, p. 26-30, 2017.

GABRIEL, R. et al. Reciproc Blue: análise da extrusão apical de detritos em comparação a sistemas rotatórios. Revista Brasileira de Odontologia, v. 77, n. 2, p. 112-118, 2020.

GUIMARÃES, L. S. et al. Preparation of oval-shaped canals with TruShape and Reciproc systems: a micro-computed tomography study using contralateral premolars. Journal of Endodontics, v. 43, p. 1018-1022, 2017.

GUEDES, I. G.; RODRIGUES, R. C. V.; MARCELIANO-ALVES, M. F. V.; JÚNIOR, J. F. S.; Shaping ability of new reciprocating or rotary instruments with two cross-sectional designs: An ex vivo micro-CT study. International Endodontic Journal, v. 55, n. 8, p. e16–e27, 2022.

GAVINI, G. et al. Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. Brazilian Oral Research, v. 32, supl. 1, e67, 2018.

GERGI, R. et al. Effects of three nickel titanium instrument systems on root canal geometry assessed by micro-computed tomography. International Endodontic Journal, v. 48, n. 2, p. 162-170, 2015.

GERLACH, Y. et al. Root canal morphology of permanent three-rooted mandibular first molars – part I: pulp floor and root canal system. Journal of Endodontics, v. 36, n. 6, p. 990-994, 2010.

GU, L. S. et al. A microcomputed tomographic study of canal isthmuses in the mesial root of mandibular first molars in a Chinese population. Journal of Endodontics, v. 35, n. 3, p. 353-356, 2009.

HARRIS, S. P. et al. An anatomic investigation of the mandibular first molar using micro-computed tomography. Journal of Endodontics, v. 39, p. 1374-1378, 2013.

HAYASHI-SAKAI, S. et al. Evaluation of permanent and primary enamel and dentin mineral density using micro-computed tomography. Oral Radiology, v. 35, p. 29-34, 2019.

IGLECIAS EF, FREIRE LG, DE MIRANDA CANDEIRO GT, DOS SANTOS M, ANTONIAZZI JH, GAVINI G. Presence of voids after continuous wave of condensation and single-cone obturation in mandibular molars: a micro-computed tomography analysis. J Endod; 43(4): 638-42, 2017

JOU YT, KARABUCAK B, LEVIN J, LIU D. Endodontic working width: current concepts and techniques. Dent Clin North Am. 48(1):323-35, Jan, 2004.

KÜÇÜKKAYA EREN S, ÖRS SA, YILMAZ Z. Effect of post space preparation on apical obturation quality of teeth obturated with different techniques: a micro–computed tomographic study. J Endod, 43(7): 1152-6, 2017.

KASHEF, E. M. et al. Centering ability and canal transportation of Reciproc Blue compared with WaveOne Gold: a micro-CT study. Clinical Oral Investigations, v. 24, n. 6, p. 1977-1983, 2020.

KETCHAM, R. A.; CARLSON, W. D. Acquisition, optimization and interpretation of X-ray computed tomographic imagery: applications to the geosciences. Computers & Geosciences, v. 27, p. 381-400, 2001.

KAROBARI, M. I. et al. Root and canal morphology of the anterior permanent dentition in Malaysian population using two classification systems: a CBCT clinical study. Australian Endodontic Journal, v. 47, n. 2, p. 202-216, 2021.

KELES, A.; KESKIN, C. Deviations of mesial root canals of mandibular first molar teeth at the apical third: a micro-computed tomographic study. Journal of Endodontics, v. 44, p. 1030-1032, 2018.

KELEŞ A, YIĞIT A, KESKIN C. Micro-CT evaluation of dentin thickness in distal root canals of mandibular first molars: assessing the influence of dimension and correlation with sulcus depth. Odontology. 2025

LEDERER, A. et al. In-vitro validation of near-infrared reflection for proximal caries detection. European Journal of Oral Sciences, v. 127, p. 515-522, 2019.

LIMA, I. Quantificação histomorfométrica 2D a partir de tomografia computadorizada 3D. 2002. Dissertação (Mestrado). COPPE/UFRJ.

LIMA, I. Caracterização de estruturas internas ósseas através das técnicas de microtomografia computadorizada tridimensional e fluorescência de raios X. 2006. Tese (Doutorado). COPPE/UFRJ.

LAVANYA, A. et al. Prevalence and morphological analysis of isthmuses in mandibular molars of the Indian population: a micro-computed tomographic study. Journal of Conservative Dentistry and Endodontics, v. 26, n. 5, p. 584-589, 2023.

LIMA, I. et al. Characterization of titanium implant through Micro CT. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, v. 579, p. 309-312, 2007.

LIMA, CAROLINA O et al . Internal Lower Incisor Morphology revealed by Computerized Microtomography. Acta odontol. latinoam., Buenos Aires , v. 33, n. 1, p. 33-37, jun. 2020.

LOPES, R. T. Tomografia computadorizada em testes não destrutivos. 1988. Tese (Doutorado) COPPE/UFRJ.

LABABIDI, E. A. Discuss the impact technological advances in equipment and materials have made on the delivery and outcome of endodontic treatment. Australian Endodontic Journal, v. 39, n. 3, p. 92-97, 2013.

LACERDA, M. et al. Cleaning and shaping oval canals with 3 instrumentation systems: a correlative micro-computed tomographic and histologic study. Journal of Endodontics, v. 43, p. 1878-1884, 2017.

LANDRIGAN, M. D. et al. Detection of dentinal cracks using contrast-enhanced micro-computed tomography. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, v. 3, p. 223-227, 2010.

LOPES, R. M. V. et al. Untouched canal areas and debris accumulation after root canal preparation with rotary and adaptive systems. Australian Endodontic Journal, v. 44, p. 260-266, 2018.

LACERDA MF, MARCELIANO-ALVES MF, PÉREZ AR, PROVENZANO JC, NEVES MA, PIRES FR, et al. Cleaning and shaping oval canals with 3 instrumentation systems: a correlative micro-computed tomographic and histologic study. J Endod.;43(11):1878-84, Nov, 2017. https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.06.032

LEE, S. J. et al. Clinical application of micro-CT in endodontics. Restorative Dentistry & Endodontics, v. 40, n. 4, p. 246–252, 2015.

LI, Z. Advances in three-dimensional imaging in endodontics. Journal of Endodontics, v. 39, p. 556–561, 2013.

MANTOVANI, Verônica de Oliveira. Análise, pela classificação de Vertucci, da morfologia do sistema de canais radiculares de molares inferiores de uma subpopulação brasileira. Estudo por meio de tomografia computadorizada. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2022.
Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/58/58133/tde-05122022-103150/. Acesso em: 29 nov. 2025.

MARCELIANO-ALVES MF, DE LIMA CO, AUGUSTO CM, ALMEIDA BARBOSA AF, VIEIRA BRUNO AM, ROSA AM, LOPES RT. The internal root canal morphology of single-rooted mandibular canines revealed by micro-computed tomography. J Conserv Dent., 21(6):588-591, Nov-Dec, 2018. doi: 10.4103/JCD.JCD_313_18.

MAMAT R, NIK ABDUL GHANI NR. The Complexity of the Root Canal Anatomy and Its Influence on Root Canal Debridement in the Apical Region: A Review. Cureus, 18;15(11):e49024, Nov, 2023. doi: 10.7759/cureus.49024. PMID: 38111413; PMCID: PMC10727774.

MALUF TC, BUENO CE, PELEGRINE RA, FONTANA CE, ROCHA DG, NASCIMENTO WM, LIMOEIRO AG, MARCELIANO-ALVES MF, DE MARTIN AS. Analysis of morphology and symmetry of the root canal system of incisors, premolars and mandibular molars using CBCT. Acta Odontol Latinoam, 37(1):25-33, Apr, 2024. doi: 10.54589/aol.37/1/25. PMID: 38920123; PMCID: PMC11212214.

MACHADO, A. C. et al. X-ray microtomography of hydrochloric acid propagation in carbonate. Applied Radiation and Isotopes, v. 96, p. 129-134, 2015.

MARTINS, J. N. et al. Influence of demographic factors on the prevalence of a second root canal in mandibular anterior teeth: a systematic review and meta-analysis. Archives of Oral Biology, v. 116, p. 104749, 2020.

MACHADO, A. C. et al. X-ray microtomography of hydrochloric acid propagation in carbonate. Applied Radiation and Isotopes, v. 96, p. 129–134, 2015.

MACHADO, A. H. et al. Effect of anatomical region on the formation of metal artefacts produced by dental implants in cone beam computed tomographic images. Dentomaxillofacial Radiology, v. 47, p. 20170281, 2018.

MACHADO, R. *Endodontia: princípios biológicos e técnicos*. Grupo GEN, 2022. ISBN 9788527738811.

MANTOVANI, V. O. *Análise, pela classificação de Vertucci, da morfologia do sistema de canais radiculares de molares inferiores de uma subpopulação brasileira*. 2022. Dissertação (Mestrado em Endodontia) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2022.

MANTOVANI, V. O. et al. Analysis of the mandibular molars root canals morphology: study by computed tomography. Brazilian Dental Journal, v. 33, n. 5, p. 1-8, 2022. doi: 10.1590/0103-6440202205105.

MARCELIANO-ALVES, M. F. et al. Shaping ability of single-file reciprocating and heat-treated multifile rotary systems: a micro-CT study. International Endodontic Journal, v. 48, n. 12, p. 1129-1136, 2015.

MARCELIANO-ALVES, M. F. et al. Internal morphology of distal roots of mandibular first molars revealed by computed microtomography. Australian Endodontic Journal, v. 49, supl. 1, p. 1-8, 2023. doi: 10.1111/aej.12682.

NABEL, E.; HEIDT, H.; STADE, J. Comparison of microfocus X-rays units. British Journal of Non-Destructive Testing, v. 28, p. 133-153, 1986.

NASCIMENTO, M. R.; ALMEIDA, D. C. N.; NASCIMENTO, D. A. *Sistemas de instrumentação rotatória contínua e reciprocante na endodontia*. Aracaju, 2017. Disponível em: https://openrit.grupotiradentes.com/. Acesso em: 18 abr. 2025

NAVARRO, J. F. B. et al. Tratamento de canais com instrumentos fraturados: relato de casos. UNINGÁ Review, v. 14, n. 1, p. 79-84, 2013.

NEVES, A. B. et al. Mineral density changes in bovine carious dentin after treatment with bioactive dental cements: a comparative micro-CT study. Clinical Oral Investigations, v. 23, p. 1865–1870, 2019. DOI: 10.1007/s00784-018-2644-2.

NG, Y.-L. et al. Outcome of primary root canal treatment – Part 2: influence of clinical factors. International Endodontic Journal, v. 41, n. 1, p. 6-31, 2007.

OLIVEIRA, M. F. S. Avaliação de meios geológicos porosos por técnicas atômicas e nucleares. 2012. Tese (Doutorado). COPPE/UFRJ.

ORDINOLA-ZAPATA, R. et al. Comparative accuracy of the clearing technique, CBCT and micro-CT methods in studying the mesial root canal configuration of mandibular first molars. International Endodontic Journal, v. 50, p. 90–96, 2017.

PEREIRA RD, BRITO-JÚNIOR M, LEONI GB, ESTRELA C, DE SOUSA-NETO MD. Evaluation of bond strength in single-cone fillings of canals with different cross-sections. Int Endod J., 50(2): 177-83, 2017.

PATEL, S.; RHODES, J. A practical guide to endodontic access cavity preparation in molar teeth. British Dental Journal, Londres, v. 203, n. 3, p. 133–140, 2007. DOI: 10.1038/bdj.2007.682.

PACHECO-YANES, J. et al. Transportation assessment in artificial curved canals after instrumentation with Reciproc, Reciproc Blue, and XP-endo Shaper systems. Journal of Investigative and Clinical Dentistry, 2019.

PAQUÉ, F.; BALMER, M.; ATTIN, T.; PETERS, O. A. Preparation of oval-shaped root canals using nickel-titanium rotary instruments: a micro-CT study. Journal of Endodontics, v. 36, p. 703-707, 2010.

PAQUÉ, F.; GANAHL, D.; PETERS, O. A. Effects of root canal preparation on apical geometry assessed by micro-computed tomography. Journal of Endodontics, v. 35, p. 1056-1059, 2009.

PAQUÉ, F.; ZEHNDER, M.; DE-DEUS, G. Microtomography-based comparison of reciprocating single-file F2 ProTaper technique versus rotary full sequence. Journal of Endodontics, v. 37, p. 1394-1397, 2011.

PARK, J. W. et al. Three-dimensional analysis of maxillary first molar mesiobuccal root canal configuration and curvature using micro-CT. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology, v. 108, n. 6, p. 437-442, 2009.

PETERS, O. A. et al. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. Journal of Endodontics, v. 27, p. 1-6, 2001.

PETERS, O. A. et al. Mechanical properties of nickel-titanium rotary instruments: a review. International Endodontic Journal, v. 37, n. 6, p. 359–371, 2004.

PETERS, O. A.; ARIAS, A.; PAQUÉ, F. A micro-computed tomographic assessment of root canal preparation with a novel instrument, TRUShape. Journal of Endodontics, v. 41, p. 1545–

1550, 2015.

PEYRIN, F. et al. Micro- and Nano-CT for the study of bone ultrastructure. Current Osteoporosis Reports, v. 12, p. 465-474, 2014.

PLOTINO, G. et al. Influence of temperature on cyclic fatigue resistance of Reciproc Blue and ProTaper Gold rotary files. International Endodontic Journal, v. 50, n. 5, p. 479–486, 2017.

PLOTINO, G.; GRANDE, N. M.; PORCIANI, P. F. Deformation and fracture incidence of Reciproc instruments: a clinical evaluation. International Endodontic Journal, v. 48, n. 2, p. 199-205, 2015.

R Core Team (2025) R: a language and environment for statistical computing. https://www.r-project.org

ROANE JB, SABALA CL, DUNCANSON MG Jr. The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals. J Endod. 1985 May;11(5):203-11. doi: 10.1016/S0099-2399(85)80061-3. PMID: 3858415.

RICUCCI, D.; LIN, L. M.; SPÅNGBERG, L. S. Wound healing of apical tissues after root canal therapy. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology, v. 108, p. 609-621, 2009.

RICUCCI, D. et al. Histologic investigation of root canal–treated teeth with apical periodontitis. Journal of Endodontics, v. 35, p. 493-502, 2009.

ROMANS, L. CT image quality. *CE* Websource, p. 1-6, 2013.

RIVERA-PEÑA ME, DUARTE MAH, ALCALDE MP, FURLAN RD, SÓ MVR, VIVAN RR. Ultrasonic tips as an auxiliary method for the instrumentation of oval-shaped root canals. Braz Oral Res. 2019 Feb; 33: e011.

RAZUMOVA, S.; BRAGO, A.; HOWIJIEH, A.; BARAKAT, H.; KOZLOVA, Y.; BAYKULOVA, M. Evaluation of Cross-Sectional Root Canal Shape and Presentation of New Classification of Its Changes Using Cone-Beam Computed Tomography Scanning. Appl. Sci., v.*10*, p. 44-95, 2020. https://doi.org/10.3390/app10134495

SABER SM, SEOUD MAE, SADAT SMAE, NAWAR NN. Root and canal morphology of mandibular second molars in an Egyptian subpopulation: a cone-beam computed tomography study. BMC Oral Health., 23(1):217, Apr, 2023. doi: 10.1186/s12903-023-02939-7.

SANJAI K, KUMARSWAMY J, PATIL A, PAPAIAH L, JAYARAM S, KRISHNAN L. Evaluation and comparison of decalcification agents on the human teeth. J Oral Maxillofac Pathol, 16(2):222-7, 2012. https://doi.org/10.4103/0973-029X.99070

SABER, S. E. D. M.; NAGY, M. M.; SCHAFER, E. Comparative evaluation of shaping ability of ProTaper Next, RaCe and Hyflex CM. International Endodontic Journal, v. 48, n. 2, p. 131-136, 2015.

SILVA, E. J. N. L.; ROVER, G.; BELLADONNA, F. G.; et al. Impact of contracted endodontic

cavities on fracture resistance of endodontically treated teeth: a systematic review of in vitro studies. Clinical Oral Investigations, Heidelberg, v. 22, n. 1, p. 109–118, 2018.

SANTOS, T. M. P. A transdisciplinaridade da microtomografia computadorizada. UFRJ, 2015.

SANTOS-JUNIOR AO, TANOMARU-FILHO M, PINTO JC, TAVARES KIMC, PIVOTO-JOÃO MMB, GUERREIRO-TANOMARU JM. New Ultrasonic Tip Decreases Uninstrumented Surface and Debris in Flattened Canals: A Micro-computed Tomographic Study. J Endod. 2020 Nov;46(11):1712-1718. doi: 10.1016/j.joen.2020.07.012. Epub 2020 Jul 16. PMID: 32682793.

SARKAR, P. S. et al. Development and characterization of a 3D cone beam tomography system. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, v. 524, p. 377-384, 2004.

SCARFE, W. C.; FARMAN, A. G.; SUKOVIC, P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. Journal of the Canadian Dental Association, v. 72, p. 75–80, 2006.

SEVGI, U., JOHNSEN, G.F., HUSSAIN, B. *et al*. Morphometric micro-CT study of contralateral mandibular incisors. Clinical Oral Investigations, n. 28, p.20, 2024.

SHEN, Y. et al. Current challenges and concepts of thermomechanical treatment of NiTi instruments. *Journal of Endodontics,* v. 39, n. 2, p. 163-172, 2013.

SIQUEIRA JÚNIOR, J. F.; RÔÇAS, I. N. Microbiology and treatment of endodontic infections. Endodontic Topics, v. 20, p. 1–17, 2008.

SIQUEIRA JÚNIOR, J. F.; RÔÇAS, I. N. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment. Journal of Endodontics, v. 34, p. 1291–1301, 2008.

SIQUEIRA Jr., J. F.; RÔÇAS, I. N. Optimising single-visit disinfection with supplementary approaches: a quest for predictability. Aust Endod J., v. 37, p. 92–98, 2011.

SIQUEIRA J. F. et al. Correlative bacteriologic and micro-CT analysis of mandibular molar mesial canals prepared by SAF, Reciproc and TF systems. Journal of Endodontics, v. 39, p. 1044-1050, 2013.

SIQUEIRA J. F. et al. What happens to unprepared root canal walls: micro-CT and histology correlation. International Endodontic Journal, v. 51, n. 5, p. 501-508, 2018.

SKIDMORE, A. E.; BJORNDAL, A. M. Root canal morphology of the human mandibular first molar. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, v. 32, p. 778–784, 1971.

SRIVASTAVA, S.; ALROGAIBAH, N. A.; ALJARBOU, G. CBCT analysis of middle mesial canals in mandibular first molars. Journal of Conservative Dentistry, v. 21, n. 5, p. 526–530, 2018.

SOUSA-NETO MD, SILVA-SOUSA YC, MAZZI-CHAVES JF, CARVALHO KKT, BARBOSA AFS, VERSIANI MA, JACOBS R, LEONI GB. Root canal preparation using

micro-computed tomography analysis: a literature review. Braz Oral Res., 18;32(suppl 1):e66, Oct, 2018. doi: 10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0066. PMID: 30365607.

TIKKU AP, PANDEY WP, SHUKLA I. Intricate internal anatomy of teeth and its clinical significance in endodontics - a review. Endodontology, 24(2):160-9, 2012.

TACHIBANA, H.; MATSUMOTO, K. Applicability of X-ray CT in endodontics. Endodontics & Dental Traumatology, v. 6, p. 16-20, 1990.

THEYE, C. E. G. et al. Dento-alveolar measurements of first molars using micro-CT. Clinical Implant Dentistry and Related Research, v. 20, n. 4, p. 550-561, 2018.

TOPCUOGLU, H. S.; TOPCUOGLU, G. Cyclic fatigue resistance of Reciproc Blue and Reciproc files. Journal of Endodontics, v. 43, n. 10, p. 1679-1682, 2017.

VALLE-MOLINA, C. ALCÁZAR-VARA, L. A., ORDAZ-JIMENEZ, J. J., CHACÓN, C., CORTÉS, I., SALGADO-DÍAZ, P., JARAMILLO, E. R. Rock characterization integrating free-free resonant column measurements and X-ray computed tomography imaging. Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources, 8:164, 2022.

VENKATESH, E.; ELLURU, S. V. Cone beam computed tomography: basics and applications. Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry, v. 51, p. 102-121, 2017.

VERTUCCI, F. J. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, v. 58, p. 589–599, 1984.

VIANA, F. L. P. et al. Use of heat-treated manual NiTi files in teeth with marked curves: case report. Dental Press Endodontics, v. 8, n. 3, p. 75-81, 2018.

VASCONCELOS LRSM, MIDENA RZ, MINOTTI PG, PEREIRA TC, DUARTE MAH, ANDRADE FB. Effect of ultrasound streaming on the disinfection of flattened root canals prepared by rotary and reciprocating systems. J Appl Oral Sci., 25(5): 477-82, 2017.

XAVIER, S. R.; LIMA, C. O.; MARCELIANO-ALVES, M. F. V.; LACERDA, M. F. L. S.; LOPES, R. T.; CAMPOS, C. N. Shaping ability of two root canal instrumentation systems in oval-shaped canals: A microcomputed tomography study. Australian Endodontic Journal, 2020.

ZANZA, A. et al. The mechanical behavior of NiTi rotary instruments: state of the art. Dentistry Journal, v. 9, n. 4, 2021.

ZHAO, D. et al. Root canal preparation of mandibular molars with NiTi systems: micro-CT study. Journal of Endodontics, v. 40, p. 1860-1864, 2014.

ZHAO, Y. et al. Evaluation of instrumentation and irrigation on untouched canal wall in C-shaped canals. International Endodontic Journal, v. 52, p. 1354–1365, 2019.

ZUOLO, M. L. et al. Micro-CT assessment of shaping ability of four instrumentation systems in oval canals. International Endodontic Journal, v. 51, p. 564–571, 2018.

S. ZHIQIANG, T. LI, S. YANG, et al. Three-dimensional characterization of typical inclusions

in steel by X-ray Micro-CT[J] J. Mater. Res. Technol., p. 9, 2020. DOI:10.1016/j.jmrt.2020.01.106

WOLF, T. G. et al. Root canal morphology of 118 mandibular first molars by micro-CT. Journal of Endodontics, v. 42, n. 4, p. 610-614, 2016.

ANEXO A – CERTIFICADO DO COMITÊ DE ÉTICA

Projeto de Pesquisa aprovado pelo Comitê de ética em pesquisa em seres humanos – CEP da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

CAAE: 82091524.1.0000.5257

UFRJ - HOSPITAL UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO FRAGA FILHO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO / HUCFF-UFRJ

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação dos diferentes instrumentos mecanizados na qualidade do preparo de canais achatados

Pesquisador: DAVI FERREIRA DE OLIVEIRA

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 82091524.1.0000.5257

Instituição Proponente: Universidade Federal Do Rio de Janeiro

Patrocinador Principal: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.092.132

Apresentação do Projeto:

Protocolo CEP HUCFF/FM/UFRJ n. 113/24.

O presente estudo tem como objetivo avaliar a centralização da modelagem, volume do canal radicular, áreas não tocadas pelos instrumentos e transporte apical após a instrumentação de canais achatados com 2 diferentes protocolos de limas diferentes. Serão selecionados 60 pré molares inferiores que serão escaneados por micro-CT. Após escaneamento os molares inferiores com canais achatados serão selecionados para o estudo. Uma cavidade de acesso será feita usando broca diamantada esférica e Endo-Z. Os canais serão explorados com as limas Kerr 10 C-pilot (VDW GmbH, Munique, Alemanha) até que a ponta do instrumento seja vista no forame apical. A lima será recuada em 1mm e essa medida será registrada como patência do canal e comprimento de trabalho (CT). As amostras serão então divididas em dois grupos (n=30) de forma randomizada (http://www.random.org). Os grupos de teste serão: Reciproc e Recip one. As amostras serão instrumentadas conforme orientações do fabricante.

Em todos os grupos, o NaOCl 2,5% será utilizado como irrigante. Após a instrumentação, um protocolo de remoção de smear layer será realizado com EDTA,NaOCl e soro fisiológico. As amostras serão novamente escaneadas por micro-CT para avaliar a modelagem dos canais

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255, 7º andar, Ala E, sala 35
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 21.941-913
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)3938-2480 **Fax:** (21)3938-2481 **E-mail:** cep@hucff.ufrj.br

Recomendações:

Apesar de não ter riscos diretos a nenhum indivíduo, é importante deixar claro que os doadores dos dentes não terão suas identidades reveladas no item riscos e benefícios. Isso está dito na declaração de manuseio, mas é importante estar descrito no item riscos.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não foram encontrados óbices éticos que impeçam o desenvolvimento do presente protocolo. De acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS nº.466 de 2012 e na Norma Operacional CNS nº. 001 de 2013, o CEP/HUCFF/FM/UFRJ se manifesta em aprovar o presente protocolo.

Considerações Finais a critério do CEP:

1.De acordo com o item X.1.3.b, da Resolução CNS n. 466/12, o pesquisador deverá apresentar relatórios semestrais - a contar da data de aprovação do protocolo - que permitam ao CEP acompanhar o desenvolvimento do projeto. Os relatórios devem ser assinados pelo pesquisador responsável e conter as informações detalhadas - naqueles itens aplicáveis - nos moldes do relatório final contido no endereço: http://conselho.saude.gov.br/comites-de-etica-em-pesquisa-conep?view=default(clicar na aba Documentos Orientadores), bem como deve haver menção ao período a que se referem. As informações contidas no relatório devem ater-se ao período correspondente e não a todo o período da pesquisa até aquele momento. Para cada relatório, deve haver uma notificação separada. A submissão deve ser como Notificação (consultar pág. 69 no arquivo intitulado ¿1 - Manual Pesquisador - Versão 3.2.39 disponível no endereço http://plataformabrasil.saude.gov.br/login.jsf Anexar em arquivo com recurso ¿copiar e colar¿.

2. Eventuais emendas (modificações) ao protocolo devem ser apresentadas de forma clara e sucinta, identificando-se, por cor, negrito ou sublinhado, a parte do documento a ser modificada.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2306755.pdf	20/07/2024 18:40:42		Aceito

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255, 7º andar, Ala E, sala 35
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 21.941-913
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)3938-2480 **Fax:** (21)3938-2481 **E-mail:** cep@hucff.ufrj.br