

Comparação entre a Micro-CT e a Tomografia de Feixe Cónico (CBCT) em Relação à Anatomia Canalar

Manuel Emidio Nunes Dias

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em
Medicina Dentária (Ciclo Integrado)

Gandra, 30 de junho de 2020

Manuel Emidio Nunes Dias

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em
Medicina Dentária (Ciclo Integrado)

Comparação entre a Micro-CT e a Tomografia de Feixe Cónico (CBCT) em relação à Anatomia Canalar

Trabalho realizado sob a Orientação do Dr. António Augusto Melo Ferraz
e Co-orientação do Prof. Doutor Paulo Manuel Cruz Miller

Declaração de Integridade

Eu, acima identificado, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste trabalho, confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.

ACEITAÇÃO DO ORIENTADOR

Eu, António Augusto Melo Ferraz, com a categoria profissional de Assistente Convidado do Instituto Universitário de Ciências da Saúde, especialista de mérito expressamente reconhecido para o efeito pelo Conselho Científico do IUCS, tendo assumido o papel de Orientador da Dissertação intitulada "*Comparação entre a Micro-CT e a Tomografia de Feixe Cónico (CBCT) em relação à Anatomia Canalar*", do aluno de Mestrado Integrado em Medicina Dentária, Manuel Emidio Nunes Dias, declaro que sou de parecer favorável para que a Dissertação possa ser depositada para análise do Arguente do Júri nomeado para o efeito para Admissão a provas públicas conducentes à obtenção do Grau de Mestre.

Gandra, 30 de Junho de 2020

António Augusto Melo Ferraz

AGRADECIMENTOS

À CESPU, seu corpo docente, direção e administração, que me deram a oportunidade que hoje vislumbro, um horizonte superior, centrado na confiança, no mérito e ética aqui presentes.

Ao meu orientador, Dr. António Augusto Melo Ferraz, e Co-orientador Prof. Doutor Paulo Miller pelo apoio, compreensão e disponibilidade para acompanhar a realização deste trabalho.

À minha esposa, Carla Dias, que de forma especial e carinhosa deu-me força e coragem, apoiando-me nos momentos de dificuldades.

Ao meu filho, João Pedro, que iluminou de maneira especial os meus pensamentos, me levando a buscar mais conhecimentos.

E a todos que, direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão sistemática integrativa sobre a comparação entre a micro tomografia computadorizada de alta resolução e a tomografia computadorizada de feixe cônico em relação à anatomia canalar. Efetuou-se pesquisa eletrônica na base de dados online Pubmed, e Google Acadêmico, combinando os seguintes termos científicos: Micro-CT, CBCT, Root Canal, Dental Anatomy e Root Morphology. A pesquisa identificou 43 artigos, dos quais 30 foram considerados relevantes para este estudo. Os resultados obtidos forneceram detalhes importantes sobre a micro tomografia computadorizada de alta resolução e a tomografia computadorizada de feixe cônico em relação à anatomia canalar. A tomografia computadorizada de feixe cônico e a micro tomografia computadorizada de alta resolução são de grande importância na Medicina Dentária, permitindo o estudo detalhado da anatomia canalar. A tomografia computadorizada de feixe cônico utiliza doses de radiação e tempo de exposição reduzidos, sendo útil nos consultórios e clínicas, no entanto tem menor resolução de imagem e é incapaz de capturar pequenos detalhes anatômicos, sendo frequentemente utilizada em estudos quantitativos *in vivo*. Por outro lado, a micro tomografia de alta resolução é o *gold standart* para estudar a morfologia dos canais radiculares *ex vivo*, todavia é limitada a pequenas amostras, ou seja, aos dentes extraídos. A sua alta resolução permite observação mais detalhada da morfologia dos canais e fornece uma visualização tridimensional precisa, permitindo análises qualitativas e quantitativas *ex vivo* dos canais radiculares, no entanto, são emitidas altas doses de radiação, sendo inadequado para o uso clínico.

PALAVRAS-CHAVE

Micro-CT, CBCT, Root Canal, Dental Anatomy, Root Morphology

ABSTRACT

The aim of this study was to perform an integrative literature review on the comparison between micro computed tomography and cone beam computed tomography in relation to canal anatomy. An electronic search was performed on the online base PubMed, and Google Scholar using the combination of the following scientific terms: Micro-CT, CBCT, Root Canal, Dental Anatomy and Root Morphology. The research identified a total of 43 articles, of which 30 were considered relevant to this study. The results obtained provided important details about micro computed tomography and cone beam computed tomography in relation to canal anatomy. Cone beam computed tomography and micro computed tomography are of great importance in dental medicine research, allowing a detailed study of canal anatomy. Cone beam computed tomography uses radiation doses and reduced exposure time, being useful in doctor's offices and clinics, however it has lower image resolution and is unable to capture small anatomical details, being frequently used in quantitative *in vivo* studies. On the other hand, micro computed tomography is the gold standard for studying the root canal morphology *ex vivo*, however it is limited to small samples, that is, extracted teeth. Its high resolution allows more detailed observation of the channel morphology and provides an accurate three-dimensional visualization, allowing *ex vivo* qualitative and quantitative analysis of the root canals, however, high doses of radiation are emitted, being unsuitable for clinical use.

KEYWORDS

Micro-CT, CBCT, Root Canal, Dental Anatomy, Root Morphology

ÍNDICE

| | |
|---------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. METODOLOGIA..... | 2 |
| 3. RESULTADOS..... | 14 |
| 4. DISCUSSÃO..... | 19 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 27 |
| REFERÊNCIAS..... | 27 |

1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos na imagem tomográfica computadorizada tridimensional deram origem a métodos mais precisos para avaliações clínicas e laboratoriais da anatomia dentária. Nas últimas décadas, a tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) e a Micro Tomografia Computorizada de alta resolução (Micro-CT) ganharam crescente importância na medicina dentária, permitindo estudos detalhados da anatomia canalar, oferecendo uma técnica reprodutível e não destrutiva, que pode ser aplicada quantitativa e qualitativamente, para avaliação bidimensional e tridimensional do sistema de canais radiculares (1).

O conhecimento minucioso da morfologia dos canais radiculares e as suas variações são de suma importância para os médicos dentistas, promovendo a deteção de desvios durante a terapia do canal radicular, otimizando o resultado do tratamento (2). Clinicamente é importante saber que uma raiz tem um único canal com origem num orifício no piso da câmara pulpar e que se divide em múltiplos canais num determinado ponto do comprimento deste canal radicular (3).

A técnica ideal para o estudo do canal radicular é aquela que além de ser precisa, simples e não destrutiva, é também viável e reprodutível num cenário *in vivo* (4).

A tecnologia Micro-CT permite uma análise transversal, tridimensional, precisa e confiável do sistema de canais radiculares, sem danificar o dente (5). Fornece precisão, alta resolução (4) e também um excelente contraste, que permite distinguir facilmente as diferentes estruturas anatómicas da imagem e fornecer uma visualização tridimensional precisa (3D) da morfologia dentária externa e interna (6).

O uso da Micro-CT é limitado, visto que, impossibilita o uso em estudos *in vivo* devido ao nível e tempo de exposição à radiação (7). A sua utilização em investigação tem custo elevado, uma vez que, há gastos com o tempo de uso laboratorial e de técnicos especializados, o tempo necessário para digitalização e reconstrução é demorado e, por fim, os custos associados ao software para manipulação, medição e reconstrução das imagens. Além disso, devido às restrições de tamanho, não existe um scanner de Micro-CT que tenha a capacidade de

digitalizar a cabeça de um ser humano, portanto, na maioria dos estudos de Micro-CT, apenas são digitalizados dentes extraídos ou segmentos de um maxilar (8).

A Micro-CT é considerada o *gold standart* para estudos *ex vivo* da morfologia dos canais radiculares, no tendo sido idealizada para fins clínicos (9), fornece informações mais detalhadas sobre estruturas anatômicas menores (10).

A CBCT é uma alternativa a considerar à Micro-CT, com custos e dimensões reduzidas, sendo de fácil acesso aos consultórios e clínicas de medicina dentária. A CBCT é um sistema de imagem extra oral dedicado a explorar toda a estrutura maxilo-facial ou visualizar estruturas dento-maxilo-faciais parcialmente (6).

A CBCT é um método diagnóstico moderno que permite a avaliação tridimensional dos dentes e estruturas adjacentes, fornecendo perspectivas sagitais, coronais e axiais (11). Os estudos *in vivo* realizados utilizando CBCT geralmente analisam um determinado grupo de dentes, sendo uma tecnologia que pode ser usada na rotina clínica (3), todavia, não é capaz de analisar adequadamente a anatomia interna dos dentes (10). A destacar como principais vantagens a menor exposição à radiação e a possibilidade da imagem *in vivo* (12).

É importante resalvar que os sistemas de imagem Micro-CT e CBCT possuem intuitos diferentes, onde a tecnologia Micro-CT é usada em estudos laboratoriais, e o CBCT é rotineiramente utilizado como auxílio diagnóstico clínico (4).

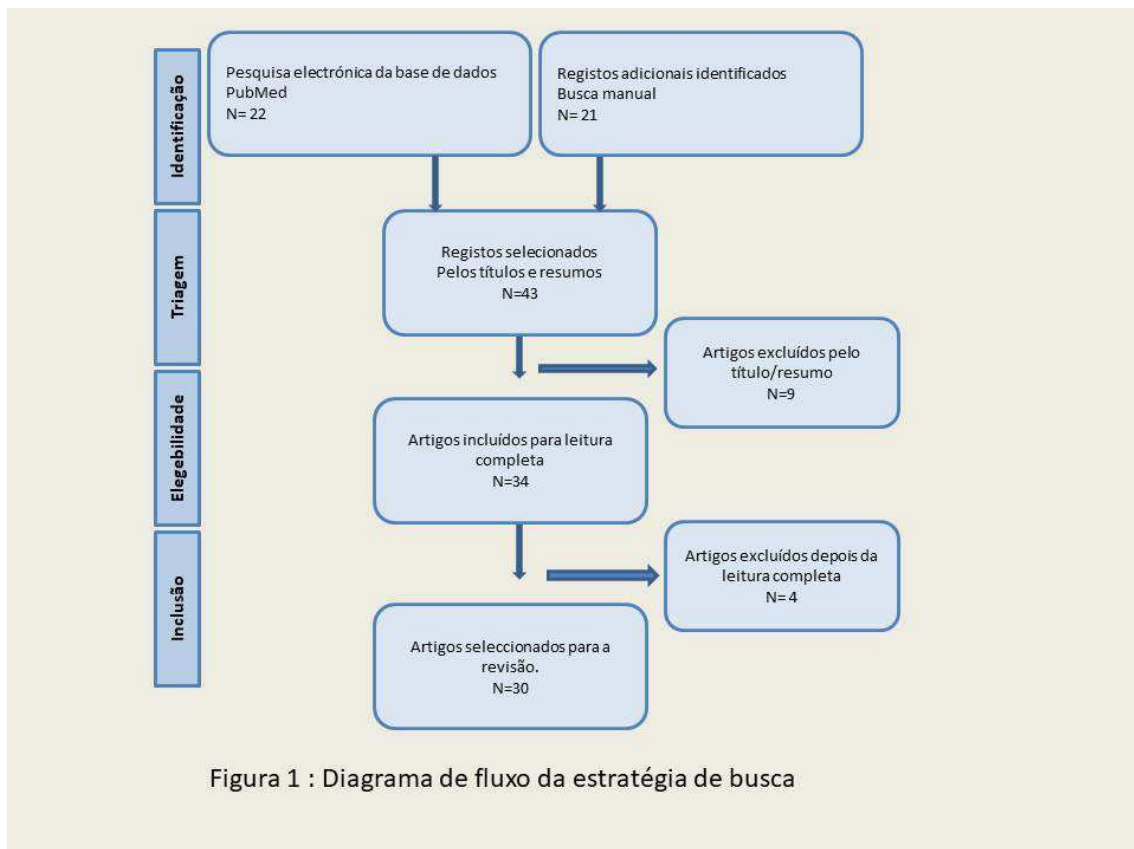
O objetivo do presente estudo foi realizar uma revisão sistemática integrativa da literatura sobre a Comparação entre a Micro-CT e a Tomografia de Feixe Cónico (CBCT) em relação aos dados pertinentes à anatomia canalar.

2. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão de literatura nas bases de dados online Medline (PubMed), e no Google Académico por artigos publicados entre 1 de janeiro de 2010 e 30 de março de 2020. Os artigos selecionados tinham que ser publicados em língua inglesa ou portuguesa. Foram utilizados alguns artigos de conteúdo teórico relevante para suporte de um raciocínio metodológico.

Os trabalhos deveriam abordar estudos sobre a anatomia e morfologia canalar utilizando as técnicas de Micro-CT e CBCT. Os dados foram pesquisados utilizando-se os seguintes termos em inglês: ("micro ct" OR "micro tomography" OR "micro-CT") AND ("cbct" OR "cone beam" OR "TAC") AND (root canal OR endodontics OR endodontics treatment OR endodontics measurements AND dental anatomy OR root morphology OR dental root morphology).

Os artigos foram agrupados de acordo com as palavras-chave, sendo removidos os artigos duplicados e fora do período definido, utilizou-se o gestor de citações Mendeley. Efetuada a leitura do título e resumo, foi possível iniciar a seleção dos artigos relevantes e posterior obtenção dos artigos completos, sendo que os estudos seleccionados foram submetidos à leitura e análise do texto completo (Fig. 1).



Por fim, os artigos seleccionados foram organizados de acordo com os seguintes critérios: identificação do artigo, objectivo, métodos, resultados e conclusão, conforme tabela I.

Tabela I. Artigos com dados relevantes

| Artigo | Objetivo | Métodos | Resultados | Conclusão |
|--|---|---|---|---|
| ZapOrdinola-Zapata R, Bramante CM, Versiani MA, Moldauer BI, Topham G, Gutmann JL, Nuñez A, Duarte MA, Abella F. Comparative accuracy of the Clearing Technique, CBCT and Micro-CT methods in studying the mesial root canal configuration of mandibular first molars. <i>Int Endod J</i> . 2017 Jan;50(1):90-96. doi: 10.1111/iej.12593. Epub 2016 Jan 19. PMID: 26659613 | Comparar a precisão da técnica da diafanização e tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) na avaliação das configurações do canal radicular usando o sistema de imagem por tomografia microcomputadorizada (Micro-CT) como padrão de referência. | 32 raízes mesiais de primeiros molares inferiores, selecionados com base em Micro-CTs como referência, apresentando várias configurações de canal, foram avaliados usando 2 scanners de CBCT e por diafanização. Dois examinadores analisaram os dados de cada método e classificaram a configuração anatômica do canal mesial de acordo com o sistema de Vertucci. | A detecção das configurações do tipo I foi significativamente menor nos dentes diafanizados, enquanto os canais radiculares do tipo II foram detectados em todas as amostras nos dois testes. Nas raízes mesiais com configurações anatômicas variáveis, a CBCT e o método de diafanização foram significativamente menos precisos que o padrão de referência. | A detecção de configurações do tipo I em dentes diafanizados foi significativamente menor, enquanto as configurações do tipo II foram detectadas em todas as amostras pelos dois métodos. Nas raízes mesiais com configurações anatômicas variáveis, nem a CBCT nem o método de diafanização foram precisos para detectar a anatomia real do canal radicular. |
| Sousa TO, Haiter-Neto F, Nascimento EHL, Peroni LV, Freitas DQ, Hassan B. Diagnostic Accuracy of Periapical Radiography and Cone-beam Computed Tomography in Identifying Root Canal Configuration of Human Premolars. <i>J Endod</i> . 2017 Jul 1;43(7):1176-9. | Avaliar a precisão diagnóstica da radiografia periapical (RP) e da tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) na detecção da configuração do canal radicular de pré-molares. | As imagens de RP e CBCT de 114 pré-molares extraídos foram avaliadas por 2 radiologistas. A configuração do canal foi classificada de acordo com a classificação de Vertucci. A imagem Micro-CT serviu como <i>gold standard</i> para determinar a configuração do canal. | Não houve diferença entre a imagem da CBCT e o <i>gold standard</i> , enquanto a RP diferiu da CBCT e da Micro-CT. A imagem da CBCT foi mais precisa que a RP para avaliar diferentes tipos de configuração de canal. Os tipos de configuração de canal III, VII e 'outros' foram mal identificados na imagem de CBCT. Com o RP, todas as configurações de canal, exceto o tipo I, eram pouco visíveis. | A imagem CBCT mostrou alta precisão na identificação da configuração do canal enquanto as RP apresentaram resultados piores desviando significativamente do <i>gold standard</i> . |
| Zhang D, Chen J, Lan G, Li M, An J, Wen X, Liu L, Deng M. The root canal morphology in | Avaliou a precisão da CBCT na detecção da morfologia do canal radicular dos primeiros pré-molares inferiores, | 143 pré-molares inferiores extraídos da mandíbula humana foram selecionados e digitalizados usando Micro-CT e CBCT. As imagens adquiridas foram usadas para avaliar a morfologia do canal radicular em | No total, as morfologias radiculares de 136 primeiros pré-molares inferiores foram identificadas por CBCT e Micro-CT: tipo I em 104, tipo III em cinco, tipo V em 20 e tipo IX em 7. Dos 7 dentes restantes, a morfologia em dois, um e quatro dentes foi identificada como tipo I, tipo VII e tipo IX (tipo 1-3 em dois e tipo | A CBCT é uma técnica radiológica confiável, mas é preciso melhorar a sua precisão na detecção de detalhes da morfologia do canal radicular nos primeiros pré- |

| | | | | |
|--|---|---|--|--|
| <p>mandibular first premolars: a comparative evaluation of cone-beam computed tomography and micro-computed tomography. Clin Oral Investig. 2017 May;21(4):1007-1012. doi: 10.1007/s00784-016-1852-x. Epub 2016 May 13. PubMed PMID: 27178313</p> | <p>usando a micro CT como padrão de referência.</p> | <p>cada dente.</p> | <p>1-2-3 em dois), respectivamente, por Micro-CT e diagnosticados incorretamente como tipo III, tipo V e tipo V, pela CBCT.</p> | <p>molares inferiores, especialmente em algumas configurações complexas do canal radicular.</p> |
| <p>Paes da Silva Ramos Fernandes LM, Rice D, Ordinola-Zapata R, et al. Detection of various anatomic patterns of root canals in mandibular incisors using digital periapical radiography, 3 cone-beam computed tomographic scanners, and micro-computed tomographic imaging. J Endod. 2014;40(1):42-45. doi:10.1016/j.joen.2013.09.039</p> | <p>Comparar a precisão da radiografia periapical (Pa) digital e 3 scanners CBCT na identificação de vários padrões anatômicos internos em incisivos mandibulares.</p> | <p>40 incisivos mandibulares foram digitalizados utilizando Micro-CT para estabelecer o padrão anatômico interno. O número de canais radiculares e padrões internos foram classificados no tipo I (canal único, n = 12), tipo II (canal oval único, n = 12) e tipo III (2 canais, n = 16). Os dentes foram colocados numa mandíbula humana, e foram realizadas radiografia digital PA e 3 tomografias CBCT (Kodak 9000 3D [Carestream Health, Rochester, NY], Veraviewepocs 3De [J Morita MFG Corp, Kyoto, Japão], NewTom 5G [QR Srl, Verona, Itália]).</p> | <p>Considerando o tipo I e o tipo II, ambos apresentaram 1 canal radicular, houve um alto grau de precisão para todos os métodos utilizados. O mesmo resultado foi encontrado para o tipo III. Ao identificar a forma de canais únicos (tipo I), a imagem CBCT foi mais precisa em comparação com a radiografia de PA. Preocupação com canais ovais (tipo Ia), houve diferença significativa entre radiografia de Pa e NewTom CBCT (radiografia de Pa = 44%, NewTom = 88%). No entanto, não houve diferenças significativas entre as 3 unidades CBCT.</p> | <p>A radiografia periapical é suficiente para a identificação do número de canais radiculares. Todos os dispositivos CBCT mostraram maior precisão na identificação da anatomia do canal de raiz única quando estava presente um canal estreito. No entanto, a identificação de canais ovais foi melhorada apenas com o dispositivo NewTom CBCT.</p> |
| <p>Rodrigues CT, Oliveira-Santos C, Bernardineli N, Duarte MA, Bramante CM, Minotti-Bonfante PG, Ordinola-Zapata R. Prevalence and morphometric analysis of three-rooted</p> | <p>Determinar a prevalência de molares inferiores com três raízes numa população brasileira usando tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) e analisar a anatomia dos primeiros molares inferiores com três raízes por meio de</p> | <p>Fora revistas Imagens de CBCT de 116 pacientes para determinar a prevalência de primeiros molares inferiores com três raízes. Além disso, com o uso da micro-CT, 55 primeiros molares inferiores extraídos com três raízes foram digitalizados e reconstruídos para avaliar o comprimento radicular, distância entre orifícios do canal, diâmetro apical, classificação de Vertucci, presença de delta apical, número de</p> | <p>A prevalência de primeiros molares inferiores com três raízes foi de 2,58%. As raízes mesiais apresentaram distribuição complexa do sistema de canais radiculares em comparação às raízes distais. As medianas dos principais diâmetros dos canais mesiobuccal, mesiolingual e mesial único foram: 0,34, 0,41 e 0,60 mm, respectivamente. Os maiores valores dos principais diâmetros foram encontrados nos canais distobuccal (0,56 mm) e os menores nos canais distolinguais (0,29 mm). A menor distância do orifício foi encontrada entre os canais mesiais (MB-ML) e a maior distância entre os canais radiculares distais (DB-</p> | <p>A raiz distolingual geralmente possui comprimento curto, curvatura severa e um único canal radicular com baixo diâmetro apical.</p> |

| | | | | |
|--|---|--|---|---|
| <p>mandibular first molars in a Brazilian subpopulation. J Appl Oral Sci. 2016 Sep-Oct;24(5):535-542. doi: 10.1590/1678-775720150511. PubMed PMID: 27812625; PubMed Central PMCID: PMC5083032</p> | <p>Micro-CT.</p> | <p>foramens e furcas, canais laterais e acessórios. A distância entre o orifício no fundo da câmara pulpar e o início da curvatura e o ângulo de curvatura do canal foram analisados na raiz distolingual.</p> | <p>DL). Quase todas as raízes distais tinham um canal radicular e um foramen apical com poucos canais acessórios</p> | |
| <p>Rashed B, Iino Y, Komatsu K, Nishijo M, Hanada T, Ebihara A, et al. Evaluation of Root Canal Anatomy of Maxillary Premolars Using Swept-Source Optical Coherence Tomography in Comparison with Dental Operating Microscope and Cone Beam Computed Tomography. Photomed Laser Surg. 2018 Sep 1;36(9):487–92.</p> | <p>Avaliar a capacidade da tomografia de coerência ótica de varredura (OCT) em detectar anatomia interna de pré-molares superiores em comparação com o microscópio cirúrgico (DOM) e a tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT).</p> | <p>10 pré-molares superiores humanos extraídos foram seccionados perpendicularmente ao eixo do dente a partir da superfície oclusal em incrementos de aproximadamente 2 mm. A OCT e o DOM foi realizados após cada corte, e a tomografia computadorizada Micro-CT (padrão de referência) e a CBCT foram realizadas antes do corte e após o primeiro e o segundo cortes.</p> | <p>OCT apresentou sensibilidade e especificidade de 0,90 e 0,80 na detecção do corno / câmara pulpar e 0,84 e 0,71 na detecção do istmo, respectivamente. As três técnicas mostraram fortes correlações na detecção do número de canais radiculares em comparação com a Micro-CT. OCT e DOM não detectaram canais laterais. Foram observadas fortes correlações entre Micro-TC e CBCT, Micro-CT e OCT e CBCT e OCT.</p> | <p>Na presente condição experimental, o Micro-CT e o CBCT mediram com precisão a espessura restante da dentina. A capacidade de DOM na detecção de anatomia dentária interna, como a câmara e cornos pulpares, istmos e canais radiculares, foi comparável à de CBCT e DOM.</p> |
| <p>Acar B, Kamburoğlu K, Tatar İ, Arıkan V, Çelik HH, Yüksel S, Özen T. Comparison of micro-computerized tomography and cone-beam computerized tomography in the detection of accessory canals in primary molars. Imaging Sci Dent. 2015 Dec;45(4):205-11. doi:</p> | <p>Comparar a precisão da Micro-CT e da tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) na detecção de canais acessórios em molares decíduos</p> | <p>41 primeiros e segundos molares extraídos foram incorporados em blocos de cera e digitalizados usando a Micro-CT e CBCT. Após a captura das imagens, as amostras foram processadas utilizando uma técnica de compensação e examinadas sob um estereomicroscópio a fim de estabelecer o <i>gold standard</i> para este estudo. Os espécimes foram classificados em três grupos: molares superiores, molares inferiores com três canais e molares inferiores com quatro canais.</p> | <p>A presença de canais acessórios nas imagens da Micro-CT nos canais das raízes maxilar e mandibular mostrou correlação estatisticamente significativa com as imagens estereomicroscópicas utilizadas como gold standard. Não foi encontrada correlação estatisticamente significativa entre os achados da CBCT e as imagens estereomicroscópicas</p> | <p>Embora a micro-CT não seja adequada para uso clínico, fornece informações mais detalhadas sobre estruturas anatômicas menores. Entretanto, a CBCT é conveniente para uso clínico, mas pode não ser capaz de analisar adequadamente a anatomia interna dos dentes decíduos.</p> |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| <p>10.5624/isd.2015.45.4. 205. Epub 2015 Dec 17. PubMed PMID: 26730367; PubMed Central PMCID: PMC4697004</p> | | | | |
| <p>Nascimento EHL, Abrahão Elias MR, Vasconcelos VHF, Haiter-Neto F, Mendonça EF, Sousa TO. Ex Vivo Detection of Apical Delta in Premolars: A Comparative Study Using Periapical Radiography, Cone-beam Computed Tomography, and Micro-computed Tomography. J Endod. 2019 May;45(5):549-553. doi: 10.1016/j.joen.2019.02.022. Epub 2019 Apr 4. PubMed PMID: 30954279</p> | <p>Avaliar o desempenho da radiografia periapical (RP) e da tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) na identificação do delta apical usando Micro-CT como gold standard.</p> | <p>As imagens RP e CBCT de 110 pré-molares humanos (120 canais radiculares) foram avaliadas quanto à presença de Delta Apical além disso, nas imagens da CBCT, também foi avaliado o número de forâmens apicais. O <i>gold standard</i> foi estabelecido por meio de imagens tomográficas microcomputadorizadas.</p> | <p>Os Delta Apicais estavam presentes em 40 canais radiculares (33,3%). As imagens RP e CBCT diferiram significativamente do <i>gold standard</i> na detecção do Delta Apical. A imagem da CBCT mostrou valores mais altos que o RP para todos os testes de diagnóstico. Apesar da precisão moderada das imagens de RP e CBCT, esses métodos apresentaram valores de sensibilidade muito baixos (0,07 e 0,35 para RP e CBCT, respectivamente). A tomografia computadorizada de CBCT teve uma tendência de subestimar o número de forâmens.</p> | <p>A imagem da CBCT mostrou melhor desempenho do que o RP na detecção de Delta Apical, ambas as modalidades de imagem subestimam sua presença quando comparadas com o gold standard. Em geral, o número de forâmens apicais não pode ser avaliado de forma confiável usando imagens de CBCT.</p> |
| <p>Campello AF, Marceliano-Alves MF, Siqueira JF Jr, Marques FV, Guedes FR, Lopes RT, Alvarenga FO, Alves FRF.</p> | <p>Avaliou a precisão e a confiabilidade da tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) na estimativa do diâmetro do canal no comprimento de</p> | <p>Dez segmentos anteriores da mandíbula foram obtidos a partir de cadáveres mantidos em formalina e digitalizados usando CBCT e Micro-CT. As varreduras foram usadas para medir o menor diâmetro do canal de 38 incisivos</p> | <p>A imagem da CBCT foi comparada à imagem da micro-CT mostrando uma precisão moderada e boa confiabilidade. As médias do menor diâmetro do canal radicular obtido por imagens de Micro-CT e CBCT foram de 0,22 mm (variação de 0,14 a 0,34 mm) e 0,23 mm (variação de 0,13 a 0,37 mm), respectivamente.</p> | <p>A imagem CBCT pode ser usada para determinar o diâmetro inicial do canal apical, que tem potencial no planejamento do alargamento do canal radicular.</p> |

| | | | | |
|--|---|---|--|---|
| <p>Determination of the Initial Apical Canal Diameter by the First File to Bind or Cone-beam Computed Tomographic Measurements Using Micro-computed Tomography as the Gold Standard: An Ex Vivo Study in Human Cadavers. J Endod. 2019 May;45(5):619-622. doi: 10.1016/j.joen.2019.01.020. Epub 2019 Mar 27. PubMed PMID: 30926161</p> | <p>trabalho (PA).</p> | <p>inferiores a 1 mm do ápice radicular.</p> | | |
| <p>Marca C, Dummer PM, Bryant S, Vier-Pelisser FV, Sô MV, Fontanella V, Dutra VD, de Figueiredo JA. Three-rooted premolar analyzed by high-resolution and cone beam CT. Clin Oral Investig. 2013 Jul;17(6):1535-40. doi: 10.1007/s00784-012-0839-5. Epub 2012 Sep 20. PubMed PMID: 22993113</p> | <p>Analisar as variações na área transversal do canal e da raiz em pré-molares maxilares com três raízes entre a tomografia computadorizada de alta resolução (Micro-CT) e a tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT).</p> | <p>16 pré-molares superiores extraídos com três raízes distintas e ápices totalmente formados foram digitalizados usando Micro-CT e CBCT. O software Photoshop CS foi usado para medir áreas transversais da raiz e do canal nos pontos mais cervicais e apicais de cada terço da raiz em imagens obtidas usando as duas técnicas tomográficas computadorizadas (CT) e em 30 seções da raiz equidistantes de ambas as extremidades da raiz usando imagens Micro-CT.</p> | <p>As Imagens realizadas por Micro-CT foram mais nítidas do que aquelas obtidas com CBCT. Houve diferenças estatisticamente significantes nas medidas de área média de raízes e canais entre as técnicas Micro-CT e CBCT. As áreas radiculares e do canal apresentaram variações semelhantes nas imagens transversais de Micro-CT e tornaram-se proporcionalmente menores na direção cervical para apical à medida que a junção cimento dentina foi abordada, de onde a área aumentou apicalmente.</p> | <p>Apesar da variação ter sido semelhante nas raízes e canais estudados, a CBCT produziu detalhes de imagem inferiores aos Micro-CT. Embora a CBCT seja uma forte ferramenta de diagnóstico, ela ainda precisa ser aprimorada para fornecer precisão nos detalhes do sistema do canal radicular, especialmente em casos com variações anatômicas, como os pré-molares superiores de três raízes</p> |
| <p>Yilmaz F, Sonmez G, Kamburoglu K, Koc C, Ocak M, Celik H. Accuracy of CBCT images in the volumetric assessment</p> | <p>Comparar três tamanhos diferentes de voxel de imagens de CBCT para a determinação do volume residual de material de obturação em canais</p> | <p>42 canais radiculares de 14 dentes molares superiores humanos extraídos foram retratados. As imagens foram obtidas após o retratamento usando o ProMax 3D Max CBCT em 3 tamanhos diferentes de voxel (1) Alta resolução (0,1 mm); (2) alta</p> | <p>Não houve diferenças significativas entre os diferentes tamanhos de CBCT de voxel utilizados (0,1 mm, 0,15 mm e 0,2 mm). Além disso, não foram encontradas diferenças significativas entre as medidas obtidas em relação à localização do canal radicular.</p> | <p>As imagens da CBCT podem fornecer informações úteis na avaliação volumétrica da quantidade de material de obturação residual nos canais radiculares para procedimentos de</p> |

| | | | | |
|---|--|---|---|---|
| <p>of residual root canal filling material: Effect of voxel size. Niger J Clin Pract. 2019 Aug 1;22(8):1091–8.</p> | <p>radiculares quando comparado ao micro CT.</p> | <p>definição (0,15 mm); e (3) resolução normal (0,2 mm). Dois observadores mediram volumes de materiais de obturação residual em imagens CBCT exportadas por meio do Software 3D Doctor. As medições de Micro-CT foram servidas como gold standard.</p> | | <p>retratamento.</p> |
| <p>Park P-Xu J, He J, Yang Q, Huang D, Zhou X, Peters OA, Gao Y. Accuracy of Cone-beam Computed Tomography in Measuring Dentin Thickness and Its Potential of Predicting the Remaining Dentin Thickness after Removing Fractured Instruments. J Endod. 2017 Sep;43(9):1522-1527. doi: 10.1016/j.joen.2017.03.041. Epub 2017 Jun 30. PubMed PMID: 28673490</p> | <p>Avaliar a precisão da tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) para medir a espessura da dentina e seu potencial de prever a espessura restante da dentina após a remoção de fragmentos de instrumentos fraturados</p> | <p>23 molares inferiores humanos foram selecionados e secções de 4 mm de limas K3 25.06 (SybronEndo, Orange, CA) foram fraturadas nos canais mesiais. Os dentes foram então digitalizados usando a Micro-CT e uma unidade de CBCT. A espessura da dentina foi medida e comparada entre as imagens de Micro-CT e CBCT para estudar a precisão das leituras de CBCT.</p> | <p>há uma relação linear entre as leituras de CBCT e Micro-CT ao simular a remoção do instrumento. Coletivamente, os dados aqui apresentados sugerem que o uso de imagens CBCT para simular a remoção de fragmentos de instrumentos e prever a espessura da dentina remanescente é preciso e viável.</p> | <p>O estudo mostrou que a imagem de CBCT pode medir com precisão a espessura da dentina. Além disso, usando imagens de CBCT, é confiável e viável prever a espessura restante da dentina após a remoção simulada do instrumento.</p> |
| <p>Michetti J, Basarab A, Diemer F, Kouame D. Comparison of an adaptive local thresholding method on CBCT and μCT endodontic images. Phys Med Biol. 2017 Dec 19;63(1):015020. doi: 10.1088/1361-6560/aa90ff. PubMed PMID: 28976357</p> | <p>Investigar a capacidade de uma estrutura de processamento de imagens para fornecer ferramentas de medição do canal radicular confiáveis para endodontia a partir de imagens de CBCT.</p> | <p>Uma estrutura de processamento de imagens, com base num método de limiar local adaptativo, foi avaliada em imagens de CBCT adquiridas em dentes extraídos. Uma comparação com imagens endodônticas segmentadas de alta qualidade em imagens de tomografia computadorizada (Micro-CT) obtidas dos mesmos dentes foi realizada usando um processo de registo dedicado.</p> | <p>Fortes correlações entre a CBCT e a Micro-CT foram encontradas tanto na área do canal radicular quanto no diâmetro (respectivamente 0,98 e 0,88). Os resultados sugerem que a combinação de imagens de CBCT com essa estrutura de processamento de imagens pode beneficiar a endodontologia experimental, o ensino e pode representar uma primeira etapa de desenvolvimento para o uso clínico da segmentação endodôntica da CBCT durante o tratamento da cavidade pulpar.</p> | <p>Para uma resolução de 75 μm, esta técnica de processamento de imagem pode permitir o uso de CBCT em dentes extraídos, não apenas para endodontologia experimental, mas também para fins de ensino. Semelhante ao Micro-CT, a CBCT combinada com a técnica de segmentação proposta também pode servir para avaliar novos instrumentos endodônticos e seus efeitos na anatomia do canal radicular</p> |

| | | | | |
|---|---|--|--|---|
| <p>Domark JD, Hatton JF, Benison RP, Hildebolt CF. An ex vivo comparison of digital radiography and cone-beam and micro computed tomography in the detection of the number of canals in the mesiobuccal roots of maxillary molars. <i>J Endod.</i> 2013;39(7):901–905. doi:10.1016/j.joen.2013.01.010</p> | <p>Comparar imagens digitais periapicais e de CBCT para determinar o número de canais na raiz mesiobucal de molares superiores e comparar essas contagens com a Micro-CT, que também foi utilizada para determinar a configuração do canal.</p> | <p>Imagens periapicais digitais (RVG 6100), CBCT (9000 3D) e Micro-CT (padrão de referência) foram obtidas de 18 hemimaxilas. Com imagens periapicais e CBCT, 2 endodontistas contaram independentemente o número de canais em cada molar e repetiram as contagens duas semanas depois. Os dentes foram extraídos e digitalizados com Micro-CT, e 2 endodontistas adicionais, por consenso, determinaram o número e a configuração dos canais.</p> | <p>Nas raízes mesiobuciais estavam presentes 2 canais em 100% dos primeiros molares superiores (13 de 13) e 57% dos segundos molares (8 de 14) e 69% (9 de 13) e 100% (8 de 8) destes saiu como 2 ou mais forames. Não houve diferença nas contagens de canais para leituras originais e repetidas pelos 2 observadores com periapical e com CBCT e nenhuma diferença quando as contagens de CBCT foram comparadas com as contagens de Micro-CT; no entanto, quando as contagens periapicais foram comparadas com as contagens de Micro-CT, houve uma diferença significativa.</p> | <p>Não foi encontrada correlação estatisticamente significativa entre os achados da CBCT e as imagens Micro-CT.</p> |
| <p>Kucher M, Dannemann M, Modler N, Haim D, Hannig C, Weber MT. Continuous Measurement of Three-Dimensional Root Canal Curvature Using Cone-Beam Computed and Micro-Computed Tomography: A Comparative Study. <i>Dent J (Basel).</i> 2020;8(1):E16. Published 2020 Feb 6. doi:10.3390/dj8010016</p> | <p>Demonstrar a aplicabilidade dos sistemas CBCT para avaliar as curvaturas do canal radicular.</p> | <p>Estudo comparativo avaliando os dados tridimensionais de imagem de Micro-CT e CBCT onde foram avaliadas e comparadas as curvaturas resultantes dos canais radiculares distais do primeiro e segundo molares.</p> | <p>A avaliação da curvatura máxima para cada terço mostrou que o valor médio avaliado a partir das imagens cbct é 13% menor no terço apical, 16% maior no terço medial e 15% maior no terço coronal. Avaliando as imagens do sistema CBCT, o valor médio das curvaturas máximas obteve valores mais elevados no terço coronal e medial, enquanto a mediana no terço apical mostrou o raio mínimo de curvatura determinado por meio do sistema micro-CT.</p> | <p>Uma vez que a avaliação das imagens CBCT obteve resultados estatisticamente semelhantes à avaliação das imagens da Micro-CT, a aplicação de imagens CBCT para a medição da curvatura do canal parece ser uma abordagem suficiente e promissora para uma medição confiável de canais radiculares tridimensionais curvados</p> |
| <p>Maret, D., Molinier, F., Braga, J., Peters, O. A., Telmon, N., Treil, J., ... Sixou, M. (2010). Accuracy of 3D Reconstructions Based</p> | <p>Avaliar a precisão do CBCT em reconstruir imagens tridimensionais com a mesma precisão da Micro-CT</p> | <p>16 mandíbulas de crianças que morreram no final do século XIX e início do século XX. Cada mandíbula foi digitalizada em 2008 e 2009 por um scanner de Micro-CT. No total 120 germes de dentes permanentes foram incluídos na amostra.</p> | <p>Os resultados dos dois métodos não foram graficamente diferentes um do outro, com uma ligeira subestimação do volume pelo CBCT em comparação com a micro-CT. não houve diferença estatisticamente significativa entre as medições de volume micro-CT e CBCT</p> | <p>Observou-se medidas volumétricas semelhantes obtidas com CBCT e sem desvios geométricos na reconstrução da superfície 3D. Portanto, pesquisas futuras poderiam usar medidas de volume</p> |

| | | | | |
|--|--|--|---|--|
| on Cone Beam Computed Tomography. Journal of Dental Research, 89(12), 1465–1469. https://doi.org/10.1177/0022034510378011 | | | | e superfície dos canais radiculares dos dados de aquisição do CBCT para auxiliar os médicos na tomada de decisões terapêuticas — por exemplo, a escolha do tipo específico de instrumentação endodôntica |
| Maret D, Peters OA, Galibourg A, et al. Comparison of the accuracy of 3-dimensional cone-beam computed tomography and micro-computed tomography reconstructions by using different voxel sizes. J Endod. 2014;40(9):1321–1326. doi:10.1016/j.joen.2014.04.014 | Avaliar a reconstrução 3D usando diferentes tipo de voxel. | 37 dentes permanentes de 9 mandíbulas foram digitalizados com CBCT e micro-CT. Foram obtidas reconstruções a partir de aquisições CBCT (tamanhos voxel 76, 200 e 300 µm) e de Micro-CT (tamanho voxel 41 µm). Todas as reconstruções foram posicionadas no mesmo plano por registo de imagem. | As diferenças máximas foram encontradas principalmente nas margens cervical e nas pontas de cuspide ou bordas incisais. As discrepâncias de reconstrução geométrica foram significativas na resolução de 300 µm. | Para estudar a morfologia do tecido duro, as imagens cbct requerem tamanhos de voxel menores que 300 µm. |
| Mirmohammadi H, Mahdi L, Partovi P, Khademi A, Shemesh H, Hassan B. Accuracy of Cone-beam Computed Tomography in the Detection of a Second Mesio Buccal Root Canal in Endodontically Treated Teeth: An Ex Vivo Study. J Endod. 2015;41(10):1678–1681. doi:10.1016/j.joen.2015.06.011 | Avaliar a precisão da imagem Micro-CT comparando com a CBCT na detecção de um segundo canal radicular mesio-bucal em molares maxilares tratados endodonticamente | 60 molares maxilares extraídos, abertos e examinados endodonticamente por microscopio operatório tentando localizar a presença de um MB2. Os dentes foram depois examinados usando imagens tomográficas Micro-CT como gold standard. Os canais radiculares foram obturados (exceto o MB2) e, em seguida, subdivididos num grupo experimental e um grupo de controle. Depois de fixar os dentes num crânio humano seco, foi feita a digitalização usando a CBCT | De 30 dentes, que foram diagnosticados sem MB2 sob análise com microscópio operatório, 6 dentes comprovaram ter um MB2 utilizando Micro-CT (20%). A sensibilidade do CBCT para a detecção de um MB2 foi de 96%, a especificidade foi de 100%, e o Precisão total foi de 98% | A imagem CBCT é uma técnica de diagnóstico adequada para detectar um MB2 perdido em dentes tratados endodonticamente |
| Sousa TO, Hassan B, Mirmohammadi H, Shemesh H, Haiter-Neto F. Feasibility of | Avaliar a eficácia da imagem CBCT para a detecção de canais laterais em pré-molares | 80 pré-molares extraídos em 2 grupos com base na ausência (n = 40) ou presença (n = 40) de canais laterais segundo análise tomográfica Micro-CT. Os | A análise da Micro-CT após a obturação mostrou que dos 40 dentes tratados, 13 estavam totalmente obturados com cimento, 9 estavam parcialmente obturados e 18 estavam totalmente vazios. Verificou-se que 67,5% dos canais laterais não estavam | A precisão da detecção de canais laterais em dentes não tratados foi baixa, e após a obturação não foi nada preciso. Embora a imagem |

| | | | | |
|---|---|--|---|--|
| Cone-beam Computed Tomography in Detecting Lateral Canals before and after Root Canal Treatment: An Ex Vivo Study. J Endod. 2017;43(6):1014–1017. doi:10.1016/j.joen.2017.01.025 | endodonticamente tratados. | dentes extraídos foram fixados numa mandíbula humana e digitalizados por CBCT. Posteriormente, cada dente foi tratado endodonticamente, e os exames de CBCT foram repetidos. | ou encontravam-se apenas parcialmente obturados, enquanto 32,5% estavam totalmente obturados. Devido à característica hiperdensa do cimento endodôntico, esperava-se que os canais laterais estivessem totalmente preenchidos nas imagens; no entanto, este fato não produziu melhor detecção de diagnóstico com imagem CBCT. | CBCT seja uma ferramenta útil na endodontia, os princípios "tão baixos quanto diagnosticamente aceitáveis" nunca devem ser negligenciados. |
| Tolentino ES, Amoroso-Silva PA, Alcalde MP, et al. Accuracy of High-resolution Small-volume Cone-beam Computed Tomography in Detecting Complex Anatomy of the Apical Isthmi: Ex Vivo Analysis. J Endod. 2018;44(12):1862–1866. doi:10.1016/j.joen.2018.08.015 | Avaliar a precisão da tomografia computadorizada de pequeno volume (CBCT) para detectar e medir istmos nos canais radiculares nos molares mandibulares utilizando a Micro-CT como referência. | 40 primeiros molares mandibulares selecionados com base na tomografia computadorizada e apresentando istmos nas raízes mesiais na parte apical (3 mm) foram digitalizados utilizando-se as configurações de maior resolução de uma unidade CBCT. Os comprimentos de istmo foram medidos e comparados com as imagens Micro-CT para estudar a precisão das leituras de CBCT. | A sensibilidade do CBCT para detecção de istmos foi de 65%. Uma média de 74,7% dos comprimentos pôde ser medida, e as diferenças entre Micro-CT e CBCT foram significativas. | A imagem CBCT de pequeno volume não pôde detectar e medir o comprimento istmo apical com precisão. Além disso, usando configurações de alta resolução no CBCT, não era confiável prever a anatomia real do canal radicular apical. |
| Tolentino, Elen & Amoroso Silva, Pablo & ALCALDE, Murilo & Marques Honório, Heitor & Iwaki, Lilian & RUBIRA-BULLEN, Izabel & Duarte, Marco. (2020). Limitation of diagnostic value of cone-beam CT in detecting apical root isthmuses. Journal of Applied Oral Science. | Avaliar o valor diagnóstico das configurações de maior resolução da CBCT na identificação e medição de istmos, utilizando Micro-CT como referência. | Após exame Micro-CT, 40 primeiros molares inferiores com istmos nas raízes foram digitalizados e os comprimentos comparados entre Micro-CT e CBCT. | O CBCT demonstrou 30 achados positivos, representando sensibilidade para identificação do istmo de 75%. Diferenças entre os comprimentos em Micro-CT (1,99±0,40 mm) e CBCT (1,53±0,41 mm) foram significativas. | O dispositivo CBCT utilizado apresentou valor diagnóstico limitado na identificação e medição de istmos apicais nas raízes mesiais dos molares inferiores. Em alguns casos, a anatomia real do canal radicular apical pode não ser completamente delineada neste tipo de sistema CBCT, mesmo usando as configurações de maior resolução. |
| Martins, Jorge & Versiani, Marco. (2019). CBCT and | Comparar o cbct e micro ct na anatomia do canal radicular. | Revisão de literatura sobre CBCT e Micro-CT na anatomia canal. | Comparativo de estudos de Micro-CT e CBCT nos dentes anteriores, pré-molares, molares, maxilares e mandibulares e morfologias adicionais. | Descrição dos principais resultados obtidos nos estudos de pesquisa in vivo e ex vivo sobre a anatomia |

| | | | | |
|---|--|--|--|---|
| Micro-CT on the study of root canal anatomy. 10.1007/978-3-319-73444-6_6 | | | | das raízes e do canal radicular, usando as tecnologias de imagem CBCT e micro-CT. |
|---|--|--|--|---|

3. RESULTADOS

A pesquisa de literatura identificou um total de 22 artigos na PubMed e 21 artigos com busca manual no Google Scholar, conforme evidenciado na Fig. 1. Após a seleção dos artigos, foram excluídos 9 pelo título e resumo e por não respeitarem os critérios de inclusão. Foram incluídos 34 artigos para a leitura completa, sendo 30 elegíveis para revisão.

Dos 30 artigos seleccionados, 21 artigos (75%) compararam CBCT vs Micro-CT sobre vários aspetos da morfologia e anatomia canalar, tais como: cornos pulpares (13), istmos (13)(14)(15)(16), canais laterais (13)(17)(18), diâmetro/volume raiz (6)(19)(20)(21), classificação segundo Vertucci (4)(11)(17)(18)(22)(23), delta apical (18)(22)(24), comprimento/número raízes (8)(18), diâmetro apical (18)(25), canais acessórios (10)(18), espessura da dentina no canal após remoção de instrumento fraturado (26), curvatura do canal tridimensional (12), existência de canal MB2 e número de canais e raízes (5)(8)(11)(27), conforme Figura 2 e tabela II.

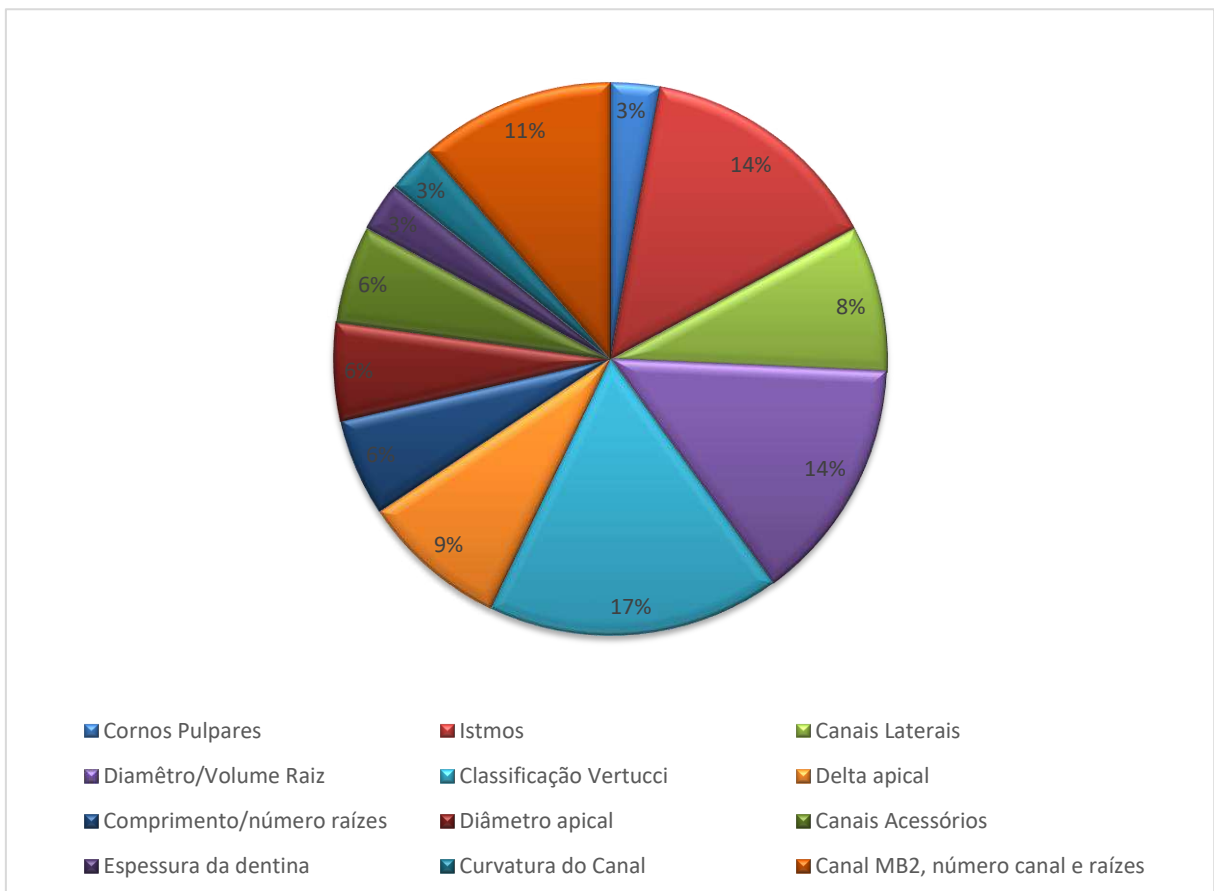


Fig. 2 – Dados da Morfologia e Anatomia Radicular CBCT vs. Micro-CT

Estes vinte e um artigos (75%) avaliaram ao todo 1122 dentes extraídos, sendo que 456 são molares maxilares e mandibulares, 479 são de pré-molares maxilares e mandibulares, 143 incisivos mandibulares, 38 caninos mandibulares e 6 dentes indefinidos, conforme demonstrado na figura 3 e tabela II.

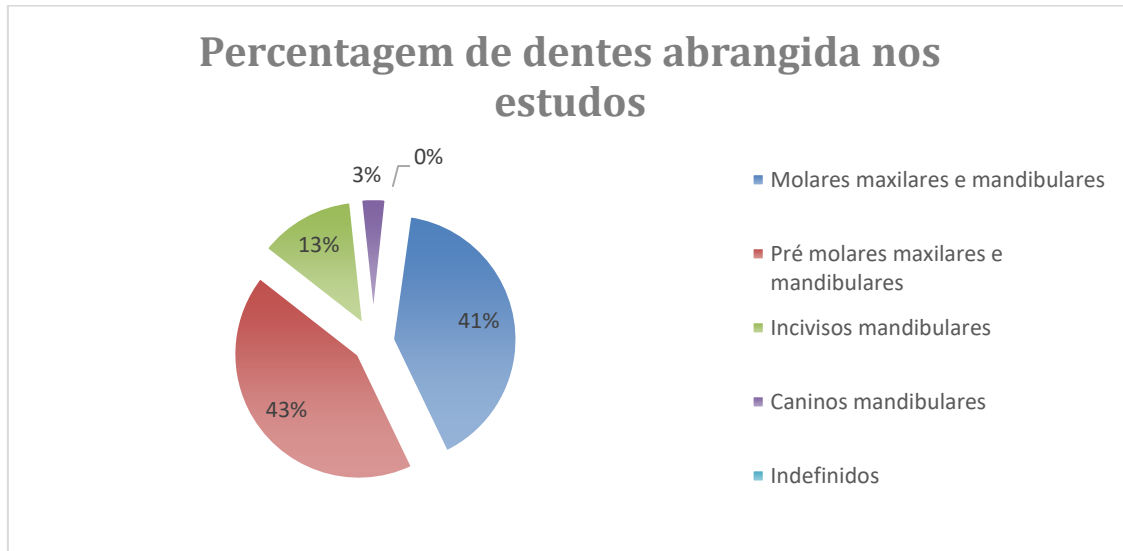


Fig. 3 - Percentagem de dentes abrangida nos estudos

A Micro-CT foi utilizada em apenas três artigos (11%), avaliou-se a morfologia e anatomia do canal radicular, tais como: espessura de dentina na zona de perigo dos canais MB1 e MB2 (5), canais acessórios, istmos, presença de canal méso bucal (28), canais em forma de C, morfologia apical (16). Ao todo, somaram-se 300 molares maxilares extraídos.

Três artigos (11%) falam unicamente na técnica CBCT e analisam *in vivo* a anatomia e morfologia canalar, tais como: classificação de Vertucci, canal em forma C e o número de raízes. Nestes estudos foram avaliados 47.856 pacientes, totalizando 140.047 dentes/imagens analisadas (2)(3)(29).

Contudo, um artigo (3%) abordou a descrição dos principais resultados obtidos nos estudos e em pesquisas *in vivo* e *ex vivo* sobre a anatomia da raiz e do canal radicular, utilizando as tecnologias de imagem CBCT e Micro-CT (1).

Os dados analisados sobre o Micro-CT x CBCT na anatomia e morfologia canalar são demonstrados na Tabela II.



| Artigo | Morfologia | Dentes | Micro-CT X CBCT | CBCT | Micro-CT | Voxel Micro-CT | Voxel CBCT |
|----------------------------|--|---|-----------------------|------|----------|-------------------|----------------------------|
| Zapata et al.(2017) | Classificação vertucci | 32 Raízes mesiais Molares mandibulares | X | | | 19.6µm | 120µm e 150µm |
| Sousa et al.(2017) | Classificação vertucci | 114 Pré molares Maxilares e mandibulares | X | | | 15.91µm | 80µm |
| Zhang et al.(2016) | Classificação vertucci | 143 Pré-molares mandibulares | X | | | 14.97µm | 125µm |
| Paes Da Silva et al.(2014) | Numero de canais classificação vertucci | 40 incisivos mandibulares | X | | | 18µm | 76µm x 125µm x 75µm |
| Rodrigues et al.(2016) | Vertucci delta Apical forâmen apical canais laterais canais acessórios | 116 Imagens (CBCT) de molares mandibulares e 55 dentes molares mandibulares digitalizados com Micro-CT | X | | | 19,6µm | 250µm |
| Rashed et al (2018) | Cornos pulparest istmos canais Laterais | 10 Molares Maxilares | X | | | 20 µm | 108µm X 108µm X 99µm |
| Acar et al.(2015) | Canais acessórios | 20 molares Maxilares 21 molares mandibulares | X | | | 18µm X 18µm | 80µm |



| | | | | | | | |
|-------------------------|---|--|---|--|--|--------------------------------|-----------------------------------|
| Nascimento et al.(2019) | Delta apical | 110 Pré-molares | X | | | 15.91µm | 80µm |
| Campello et al.(2019) | Diametro apical | 38 Incisivos mandibulares | X | | | 9,9µm | 76µm |
| Marca et al.(2013) | Medir area raiz e canal | 16 Pré-molares maxilares | X | | | 34µm X 34µm X 42µm | 200µm X 200µm X 200µm |
| Yilmaz et al.(2019) | Determinar Volume obturação canais Após retratamento | 14 Molares Maxilares | X | | | 21µm | 100µm 150µm 200µm |
| Park P-Xu et al.(2017) | Medir espessura da dentina após remoção instrumentos fraturados | 23 molares mandibulares | X | | | 30µm | 125µm |
| Michetti et al (2017) | Anatomia do canal | 6 dentes | X | | | 27.25µm | 75µm |
| Domark et al.(2013) | Numero de canais e raizes | 27 molares maxilares | X | | | 20µm | 76µm |
| Kucher et al.(2020) | Curvatura e comprimento canal | 50 molares mandibulares | X | | | 21µm | 80µm |
| Maret et al.(2010) | CBCT pode medir e reconstruir com precisao tecidos dentarios 3D comparando medidas Micro-Ct | 50 incisivos 26 caninos 16 pré-molares 28 molares Todos mandibulares | X | | | 41µm | 76µm |



| | | | | | | | |
|---------------------------|---|--|---|---|---|---------|------------------------|
| Maret et al.(2014) | Reconstrução 3D usando diferentes tamanho voxel | 15 incisivos 12 caninos 10 molares Todos mandibulares | X | | | 41µm | 76µm 200µm 300µm |
| Mirmohammadi et al.(2015) | Presença de MB2 | 60 molares maxilares | X | | | | 125µm |
| Sousa et al.(2017) | Canais laterais | 80 Pré-molares maxilares | X | | | 15.91µm | 80µm |
| Tolentino et al.(2018) | Istmos | 40 Molares mandibulares | X | | | 19.6µm | 80µm |
| Tolentino et al.(2020) | Istmos | 40 molares mandibulares | X | | | 19.6µm | 125µm |
| Zapata et al.(2017) | Canais em forma C istmos morfologia a 1, 2 e 3mm do apice | 100 Molares | | | X | | |
| Zapata et al.(2019) | Avaliar espessura dentina na zona de perigo dos canais MB1 e MB2 | 100 Molares maxilares | | | X | | |
| Zapata et al.(2019) | Anatomia da raiz mesial molares maxilares forma apical raiz Canais acessórios | 100 Molares maxilares | | | X | | |
| Martins et al.(2017) | Numero de raizes e vertucci | 11.892 dentes/ imagens De 646 pacientes | | X | | | |



| | | | | | | | |
|----------------------|--|---|--|---|--|--|--|
| Martins et al.(2019) | Meta análise revisão avaliar Prevalencia Canal Em Forma C | 25.545 dentes molares superiores pré-molares e molares inferiores de 13.142 paciente | | X | | | |
| Martins et al.(2019) | Meta análise revisão anatomia Canal Vertucci Numero Raizes | 102.610 dentes de 34.068 pacientes | | X | | | |

Tabela II. Dados relevantes Micro-CT x CBCT

4. DISCUSSÃO

A compreensão do número de canais radiculares, a seção transversal e possíveis variações anatômicas é de extrema importância para a medicina dentária, visto que, a alta prevalência de curvaturas, istmos, e múltiplos canais que se unem e se separam em diferentes níveis da raiz podem ser um fator de complicação na prática clínica. Zapata et al. (2017) avaliaram a precisão do CBCT, com a finalidade de se estudar a raiz mesial dos primeiros molares mandibulares segundo a classificação de Vertucci utilizando o Micro-CT como padrão de referência. Os resultados apresentaram uma alta precisão dos dispositivos CBCT para identificar a configuração do canal tipo II, mas no tipo I foi significativamente menor (4).

Entretanto, Sousa et al. (2017), após um estudo da morfologia dos dentes pré-molares, afirmam que não houve diferença entre a imagem CBCT e Micro-CT, contudo, a CBCT não identificou corretamente alguns canais do tipo III e VII (22). A falta de identificação de estruturas anatômicas precisas também foi observada nos dados da CBCT quando comparada à Micro-CT. Essas limitações tornaram-se mais evidentes durante a avaliação das raízes mesiais com configurações anatômicas que não se encaixam no modelo das configurações de Vertucci. Isto explica o fato de que, as anatomias não classificadas raramente são abordadas em estudos que envolvem a CBCT (4).

No entanto, Zhang et al. (2017) num trabalho realizado em pré-molares, estudaram a morfologia dos canais e classificaram segundo Vertucci. Os resultados não mostraram

diferenças significativas em relação à detecção precisa das configurações do canal radicular, demonstrando assim, que o CBCT é uma técnica radiológica fiável para a verificação da morfologia canalar, todavia, dentes com configuração tipo I, VII e IX identificados na técnica Micro-CT foram incorretamente diagnosticados como tipo III, IV e V pela técnica CBCT (23).

Marca et al. (2013) realizaram uma pesquisa sobre a anatomia e a morfologia de pré-molares superiores com 3 raízes. Eles verificaram que as imagens Micro-CT foram mais nítidas do que as CBCT, ainda revelaram a presença de mais detalhes anatómicos, tais como: a presença de dois e três canais no terço médio de uma das amostras, sendo um mésio bucal e outro disto bucal, presença de canais laterais, trifurcação do canal no terço apical e também diferentes formas de secções radiculares e canulares. Em contraste, as imagens oriundas da CBCT estavam com baixíssima nitidez (19).

Também, Domark et al. (2013) após um estudo que compara a radiografia periapical, a Micro-CT e a CBCT verificaram que houve uma diferença significativa no número de canais que foi detetada quando as contagens 2D foram comparadas com as referências Micro-CT, porém, nenhuma diferença foi detetada quando as contagens CBCT foram comparadas com as contagens Micro-CT. Clínicamente, isso é importante, no que diz respeito à capacidade de fazer diagnósticos pré-intervenção endodôntica nos molares superiores (8).

Entretanto, num outro estudo para determinar o volume residual de material obturador nos canais após o retratamento, Yilmaz et al. (2019) verificaram que não houve diferenças significativas entre a Micro-CT e a CBCT, e que as imagens CBCT podem fornecer informações úteis na determinação volumétrica da quantidade de material de obturação residual nos canais radiculares para procedimentos de retratamento endodôntico (20).

Mirmohammadi et al. (2015) relataram a excelente precisão da imagem CBCT para a detecção de canal MB2, e a presença de material obturador no canal radicular (gutta-percha e AH 26 *sealer*) não parece influenciar a precisão (27).

Entretanto, Kucher et al. (2020) avaliaram a curvatura do canal em 50 molares inferiores e concluíram que a curvatura máxima para cada terço, a partir das imagens CBCT é 13% menor no terço apical, 16% maior no terço medial e 15% maior no terço coronal, se comparadas à Micro-CT. Os valores medianos de curvatura foram semelhantes nas imagens

CBCT e Micro-CT, sendo que a curvatura máxima e a sua localização diferem para ambas as técnicas devido a diferentes resoluções das imagens tomográficas (12).

O delta apical é uma variação anatômica em que o canal principal é dividido em múltiplas ramificações no terço apical. Nascimento et al. (2019) estudaram 110 pré-molares comparando o CBCT e radiografia periapical com o Micro-CT, foram avaliados 120 canais. A técnica Micro-CT (*gold standard*) encontrou delta apical em 40 canais radiculares e ausência em 80 canais, entretanto, a CBCT foi capaz de detetar apenas 35% (14 canais), demonstrando que, tanto a CBCT quanto a radiografia periapical, não podem ser usados como *gold standard* quando se trata da deteção de deltas apicais (24).

Devido à variabilidade no terço apical, o tamanho do preparo do ápice é determinado de acordo com a anatomia canalar e não com base num único tamanho, conforme sugerido e disponibilizado pela maioria dos fabricantes de instrumentos. Campello et al. (2019) avaliaram 40 incisivos mandibulares, e constatou-se que 39 possuíam um único canal radicular detetado pelo Micro-CT, sendo que, o menor diâmetro do canal de cada incisivo foi avaliado a 1 mm do ápice radicular. Quando a imagem CBCT foi comparada com a Micro-CT, houve uma grande semelhança no diâmetro e comprimento médio dos canais radiculares portanto a imagem CBCT pode ser utilizada para medir o diâmetro inicial do canal (25).

Quanto à avaliação de foraminas apical em pré-molares nas imagens CBCT, a dificuldade em detetá-las foi maior à medida que o número de foraminas aumentava, sendo que a CBCT tende a subestimar a sua visualização. Sugere-se, portanto, uma abordagem mais crítica na prescrição e interpretação da imagem, sendo que o número de foraminas apicais não pode ser avaliado de forma confiável por imagem CBCT (24).

Rashed et al. (2017) num estudo sobre a anatomia interna de pré-molares, analisaram a presença de cornos pulpares, câmara pulpar, istmos e canais laterais, concluindo-se que a Micro-CT e o CBCT revelam alta precisão sem diferenças significativas (13).

Contudo, Tolentino et al. (2018), num estudo para identificar a presença de istmos, concluíram que a imagem CBCT não pôde detetar e medir o comprimento do istmos apicais com precisão, e mesmo usando as configurações de maior resolução, prever a anatomia real do ápice do canal radicular não era confiável (14)(15).

Sousa et al. (2017) avaliaram a presença de canais laterais antes e depois do tratamento endodôntico e concluíram que a percepção de canais laterais em dentes tratados e não tratados apresentou baixa precisão. Os resultados sugerem que a imagem da CBCT não é uma ferramenta eficaz para localizar canais laterais (17).

Acar et al. (2015) após um estudo sobre localização de canais acessórios nos primeiros molares, confirmaram que a Micro-CT pode ser usada para melhor compreender a anatomia do canal radicular, localizando múltiplos canais acessórios, que seriam impossíveis de identificar ao utilizar outras técnicas de imagem (10). Zapata et al. (2019) através do Micro-CT, afirmaram que 90% das raízes mesiobucais dos primeiros molares maxilares tinham canais acessórios (28).

Num estudo sobre Micro-CT, Zapata et al. (2019) afirmam que há menos estrutura de dentina apical ao redor do canal MB2 em comparação com o canal MB1. A espessura média da dentina e o formato da raiz após o preparo endodôntico final não foram extensivamente abordados. Não se sabe se a prevalência de defeitos apicais após o preparo do canal radicular é mais comum em raízes ovais longas com canal MB2 em comparação com os terços apicais arredondados (28).

Xu et al. (2017) num estudo comparando o Micro-CT e o CBCT sobre espessura da dentina após remoção de instrumento fracturado, concluíram que o CBCT pode ser usado para estimar a quantidade de dentina com precisão, sendo possível prever a espessura de dentina restante após a remoção simulada do fragmento do instrumento (26).

4.1. Qualidade imagem CBCT e Micro-CT

Um parâmetro importante para apoiar a fiabilidade de um método para o estudo da anatomia das raízes e canais é o tamanho do voxel. Sendo de suma importância em termos de qualidade de imagem, tempos de digitalização e reconstrução de imagens CBCT e Micro-CT(20).

Os voxels são partículas isotrópicas, que apresentam altura, largura e profundidade iguais, dando forma e medidas precisas ao volume 3D (1). Um "voxel" descreve a menor parte em forma de caixa distinguível de uma imagem 3D, quanto menor o tamanho mais confiável é o resultado.

Sabe-se que o tamanho do voxel influencia o contraste e a resolução espacial, desempenhando um importante papel na capacidade de imagem da CBCT para exibir detalhes mais precisos (22). A incapacidade de identificar uma estrutura anatômica com precisão pode levar a um diagnóstico errado (23). São necessários mais estudos sobre o tamanho do voxel a considerar, para os diferentes tamanhos de estruturas anatômicas, a fim de esclarecer, a influência da resolução espacial na visualização de pequenas estruturas (24).

A imagem CBCT mostrou-se a melhor opção, actualmente, para medições da estrutura anatômica *in vivo*, fornecendo alta resolução espacial com qualidade diagnóstica em curto tempo de digitalização (25)(6), sendo que, a resolução espacial representa um fator potencial de controvérsia entre as medidas CBCT e Micro-CT e/ou reconstruções de superfície. Porém a Micro-CT é o padrão *gold standart* mas só pode ser utilizada *ex vivo/in vitro* (12).

Maret et al. (2010) avaliaram a precisão de reconstrução 3D da CBCT comparada ao Micro-CT e, confirmaram que a precisão dos dados testados da CBCT foi elevada em comparação com a referência de Micro-CT. Foram observadas medidas volumétricas semelhantes e sem desvios geométricos na reconstrução da superfície 3D. A análise desses dados possibilita uma avaliação altamente precisa das estruturas dentárias internas 3D e seu uso em situações clínicas adequadas (21).

No entanto, foi observado, que o tamanho do voxel não é o único determinante para a qualidade da imagem. Em vez disso, vários fatores, que incluem taxa de contraste, ruído, especificação do detector, FOV, configurações de digitalização e artefatos de imagem, desempenham um papel igualmente importante na determinação da visibilidade, aparência e contraste de pequenas estruturas anatômicas, como a câmara pulpar e o canal radicular. Esses achados mostram a necessidade de desenvolver protocolos padronizados de digitalização e reconstrução de imagens para aplicações endodônticas (27).

Entretanto, Maret et al. (2014) avaliaram que a precisão do CBCT como ferramenta de medição está ligada ao tamanho do voxel. Até 200 μm , as deformações geométricas não estão relacionadas com o tamanho do voxel, mas ficam dependentes dele a partir de 300 μm . Comparando-se a Micro-CT e a CBCT, constataram que a diferença se torna significativa dos pontos de vista quantitativos e qualitativos a partir de 300 μm , sendo que, as aquisições da CBCT, para estudar a morfologia dentária, exigem tamanhos de voxel menores que 300 μm (30).

Atualmente, o tamanho do voxel das máquinas de CBCT pode variar de 400 μm a 75 μm . Tamanhos menores de voxel permitem resoluções mais altas, porém exigem doses de radiação mais altas, sendo que, os tamanhos de voxel 75 μm , 200 μm e 300 μm correspondem aos 3 tamanhos de campo de exploração, geralmente, encontrados em CBCTs comercialmente utilizáveis (30).

Por outro lado, o Micro-CT fornece análise mais precisa das estruturas anatômicas devido à possibilidade de utilização de maior tempo de exposição e menor tamanho de voxel, comparada à CBCT, durante o procedimento de digitalização (4). Os dispositivos CBCT usam tamanhos maiores de voxel diminuindo a resolução (1). A imagem Micro-CT possui resolução muito mais alta do que a imagem CBCT, razão pela qual, é usada como *gold standart* (25), sendo que o tamanho de voxel varia de 5 μm a 50 μm , quanto menor o tamanho do voxel maior a resolução (7).

Marciano et al. (2015) avaliaram a Micro-CT e o software Skyscan para processamento e análise das imagens, utilizadas para medições lineares ou 3D. O processo de binarização, utiliza as operações matemáticas para alterar os valores dos pixels da amostra a ser analisada. Os valores binários são ajustados de acordo com as imagens brutas. Nesse processo, é possível dividir a imagem em regiões, reconhecendo-as como objetos independentes um do outro e de fundo. Sendo assim, na avaliação da anatomia canalar, são separados os segmentos correspondentes à dentina e ao canal radicular. Contudo, na avaliação do preenchimento radicular pós tratamento endodôntico separa-se o material de obturação da dentina.

É importante ressaltar que, devido à sua alta resolução, estudos sobre anatomia radicular utilizando a tecnologia de micro-CT têm avaliado características anatômicas específicas de um grupo de dentes, por outro lado, estudos de CBCT se concentram, principalmente, em informações epidemiológicas sobre o número das raízes e configuração canalar de todos os grupos de dentes de uma determinada população (1)(2).

4.2 Vantagens e desvantagens CBCT e Micro-CT

O mais importante do uso da CBCT é a possibilidade de realizar estudos anatômicos *in vivo* em grandes populações, abordando a influência de várias variáveis como etnia, envelhecimento, sexo e lado (esquerdo ou direito) na anatomia do canal radicular, em consultórios particulares ou clínicas universitárias, com custos mais baixos em comparação à

tecnologia de Micro-CT (1). Apesar de ser um método laboratorial, a Micro-CT é, frequentemente, utilizada como *gold standart* em estudos endodônticos *ex vivo*, devido à sua alta resolução espacial (24), embora tenha limitada aplicabilidade clínica, é actualmente o mais utilizado para o estudo *ex vivo* da anatomia do canal radicular (4).

Contudo, a Micro-CT possui várias desvantagens que limitam seu uso na investigação das estruturas maxilo-faciais. Primeiro, o campo de visão limitado (FOV) restringe os estudos a amostras pequenas. Segundo, o Micro-CT consome tempo (da ordem de algumas horas para aquisição e reconstrução de uma imagem de um único dente) e também doses de radiação mais altas do que os scanners médicos convencionais, portanto, o Micro-CT é dedicado exclusivamente a estudos de pesquisa endodôntica *in vitro* (6).

Michetti et al. (2017) concluíram que os dispositivos CBCT estão mais disponíveis em escolas e consultórios médico-dentários, e fornecem aquisições muito mais rápidas que o Micro-CT, permitindo o estudo de mais amostras (6).

Entretando, os estudos *in vivo* são mais úteis para investigar a real prevalência da anatomia radicular e a CBCT é uma tecnologia que pode ser usada na rotina clínica (3), sendo comumente utilizada como auxílio diagnóstico em endodontia (4).

Os dados recolhidos por estes dispositivos de imagem podem auxiliar no tratamento de pacientes (3), bem como, devido à sua relevância, pode ser fornecido o acesso a uma maior quantidade de dados clínicos para a elaboração de vários estudos (12). Assim, no ambiente clínico, quando achados anormais ou variações são detetadas em radiografias digitais periapicais, pode ser impossível avaliar o sistema do canal radicular de forma eficaz. Nessas situações, é sensato usar o CBCT para um diagnóstico posterior (4)(11).

Contudo, a Comissão Europeia de Proteção contra Radiação concluiu em 2012 que, são necessárias mais pesquisas para estabelecer a precisão do diagnóstico de dispositivos CBCT dentários na identificação da anatomia do canal radicular para justificar sua indicação no tratamento endodôntico. A análise quantitativa do canal radicular a partir dos dados da CBCT pode realmente oferecer uma compreensão profunda da morfologia endodôntica (número de canais principais, localização, comprimento, curvatura, espessura e diâmetro apical) e ajudar a superar as dificuldades existentes no tratamento do canal radicular (6).

A Micro-CT ganhou crescente importância nos estudos da anatomia do canal radicular em endodontia porque oferece uma técnica não destrutiva (5), que produz secções muito finas e reconstrução tridimensional do objecto com grande pormenor (20). É uma técnica precisa e reprodutível, podendo ser aplicada tanto quantitativa quanto qualitativamente (1)(23)(26).

Todavia, a CBCT é mais utilizada em estudos de prevalência onde o tamanho da amostra *in vivo* é maior (3) e são a melhor abordagem para estimar a frequência e ou percentual de indivíduos com morfologias específicas raiz/canal, pois permite a análise da dentição total de vários pacientes de uma população específica, de forma consecutiva (2) podendo estar ainda relacionadas à região geográfica e à etnia (3). Atualmente, não há nenhuma aplicação dedicada à endodontia e destinada a explorar o sistema de canais radiculares quantitativamente (6).

Embora a dose de radiação CBCT seja menor em comparação com o Micro-CT, ainda é, consideravelmente, maior que a exposição na radiografia periapical (22), e pode ser equivalente à radiação necessária para fazer de 4 a 15 radiografias panorâmicas(25), mesmo representando uma dose de radiação, razoavelmente, baixa para o paciente, a CBCT não pode ser usada de forma não crítica (24).

Outra desvantagem significativa da tecnologia CBCT como técnica de imagem é a ocorrência de artefactos que durante a digitalização pode ocultar detalhes de interesse ou fazer com que o valor do corte de um único material seja alterado em diferentes partes da imagem (1), mas as imagens CBCT podem ser obtidas por meio de um pequeno campo de visão, que concentra a radiação numa determinada área, contribuindo para a resolução ideal, com baixo risco de radiação para os pacientes (25). Entretanto, a dose de radiação da técnica de imagem tomográfica tridimensional Micro-CT é geralmente maior do que a dose de CBCT e, portanto, os sistemas Micro-CT são utilizados apenas *ex vivo*/*in vitro* para pesquisas endodônticas (12).

A aplicabilidade clínica da tecnologia Micro-CT é limitada (4), com procedimentos demorados e caros, sendo que o processo de digitalização e reconstrução levam um tempo considerável. A técnica não é adequada para uso clínico (23)(19)(10), sendo impossível empregar o seu uso *in vivo* em seres humanos, normalmente, utilizada para o estudo de um número limitado de dentes extraídos (1). Por outro lado, o CBCT é amplamente utilizado para detetar a morfologia do canal radicular e supera as desvantagens do Micro-CT, na prática clínica (23).

A CBCT é conveniente para uso clínico, mas a sua precisão em identificar detalhes da morfologia pode ser insuficiente ao analisar a anatomia interna dos dentes.

A Micro-CT parece ser uma melhor alternativa para estudos que investigam a anatomia e morfologia do canal radicular. Ainda que, actualmente, só possa ser usado para pesquisas, futuros avanços tecnológicos podem permitir que a Micro-CT se torne uma excelente ferramenta para uso clínico.

REFERÊNCIAS

1. Martins JNR, Versiani MA. CBCT and Micro-CT on the study of root canal anatomy. In: *The Root Canal Anatomy in Permanent Dentition*. Springer International Publishing; 2018. p. 89–180.
2. Martins JNR, Marques D, Silva EJNL, Caramês J, Versiani MA. Prevalence Studies on Root Canal Anatomy Using Cone-beam Computed Tomographic Imaging: A Systematic Review. Vol. 45, *Journal of Endodontics*. Elsevier Inc.; 2019. p. 372-386.e4.
3. Martins JNR, Marques D, Mata A, Caramês J. Root and root canal morphology of the permanent dentition in a Caucasian population: a cone-beam computed tomography study. *Int Endod J*. 2017 Nov 1;50(11):1013–26.
4. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Versiani MA, Moldauer BI, Topham G, Gutmann JL, et al. Comparative accuracy of the Clearing Technique, CBCT and Micro-CT methods in studying the mesial root canal configuration of mandibular first molars. *Int Endod J*. 2017 Jan 1;50(1):90–6.
5. Ordinola-Zapata R, Martins JNR, Versiani MA, Bramante CM. Micro-CT analysis of danger zone thickness in the mesiobuccal roots of maxillary first molars. *Int Endod J*. 2019 Apr 1;52(4):524–9.
6. Michetti J, Basarab A, Diemer F, Kouame D. Comparison of an adaptive local thresholding method on CBCT and μ CT endodontic images. *Phys Med Biol [Internet]*. 2017 Dec 19 [cited 2020



Apr 7];63(1):015020. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6560/aa90ff>

7. Marciano MA, Duarte MAH, Cavenago BC, Villas-Bôas MH, Minotti PG, Bramante CM, et al. Applications of micro-computed tomography in endodontic research. 2012.
8. Domark JD, Hatton JF, Benison RP, Hildebolt CF. An ex vivo comparison of digital radiography and cone-beam and micro computed tomography in the detection of the number of canals in the mesiobuccal roots of maxillary molars. *J Endod.* 2013 Jul;39(7):901–5.
9. Martins JNR, Ordinola-Zapata R, Marques D, Francisco H, Caramês J. Differences in root canal system configuration in human permanent teeth within different age groups. *Int Endod J.* 2018 Aug 1;51(8):931–41.
10. Acar B, Kamburoğlu K, Tatar I, Arikan V, Çelik HH, Yüksel S, et al. Comparison of micro-computerized tomography and cone-beam computerized tomography in the detection of accessory canals in primary molars. *Imaging Sci Dent.* 2015 Dec 1;45(4):205–11.
11. Paes Da Silva Ramos Fernandes LM, Rice D, Ordinola-Zapata R, Alvares Capelozza AL, Bramante CM, Jaramillo D, et al. Detection of various anatomic patterns of root canals in mandibular incisors using digital periapical radiography, 3 cone-beam computed tomographic scanners, and micro-computed tomographic imaging. *J Endod.* 2014 Jan;40(1):42–5.
12. Kucher M, Dannemann M, Modler N, Haim D, Hannig C, Weber MT. Continuous measurement of three-dimensional root canal curvature using cone-beam computed and micro-computed tomography: A comparative study. *Dent J.* 2020 Feb 6;8(1).
13. Rashed B, Iino Y, Komatsu K, Nishijo M, Hanada T, Ebihara A, et al. Evaluation of Root Canal Anatomy of Maxillary Premolars Using Swept-Source Optical Coherence Tomography in Comparison with Dental Operating Microscope and Cone Beam Computed Tomography. *Photomed Laser Surg.* 2018 Sep 1;36(9):487–92.
14. Tolentino E de S, Amoroso-Silva PA, Alcalde MP, Honório HM, Iwaki LCV, Rubira-Bullen IRF, et al. Accuracy of High-resolution Small-volume Cone-beam Computed Tomography in Detecting Complex Anatomy of the Apical Isthmi: Ex Vivo Analysis. *J Endod.* 2018 Dec 1;44(12):1862–6.



15. TOLENTINO E de S, AMOROSO-SILVA PA, ALCALDE MP, HONÓRIO HM, IWAKI LCV, RUBIRA-BULLEN IRF, et al. Limitation of diagnostic value of cone-beam CT in detecting apical root isthmuses. *J Appl Oral Sci.* 2020;28.
16. Ordinola-Zapata R, Martins JNR, Bramante CM, Villas-Boas MH, Duarte MH, Versiani MA. Morphological evaluation of maxillary second molars with fused roots: a micro-CT study. *Int Endod J.* 2017 Dec 1;50(12):1192–200.
17. Sousa TO, Hassan B, Mirmohammadi H, Shemesh H, Haiter-Neto F. Feasibility of Cone-beam Computed Tomography in Detecting Lateral Canals before and after Root Canal Treatment: An Ex Vivo Study. *J Endod.* 2017 Jun 1;43(6):1014–7.
18. Rodrigues CT, de Oliveira-Santos C, Bernardineli N, Duarte MAH, Bramante CM, Minotti-Bonfante PG, et al. Prevalence and morphometric analysis of three-rooted mandibular first molars in a Brazilian subpopulation. *J Appl Oral Sci.* 2016 Sep 1;24(5):535–42.
19. Marca C, Dummer PMH, Bryant S, Vier-Pelisser FV, Só MVR, Fontanella V, et al. Three-rooted premolar analyzed by high-resolution and cone beam CT. *Clin Oral Investig.* 2013;17(6):1535–40.
20. Yilmaz F, Sonmez G, Kamburoglu K, Koc C, Ocak M, Celik H. Accuracy of CBCT images in the volumetric assessment of residual root canal filling material: Effect of voxel size. *Niger J Clin Pract.* 2019 Aug 1;22(8):1091–8.
21. Maret D, Molinier F, Braga J, Peters OA, Telmon N, Treil J, et al. Accuracy of 3D reconstructions based on cone beam computed tomography. *J Dent Res [Internet].* 2010 Dec 7 [cited 2020 Apr 13];89(12):1465–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20929716>
22. Sousa TO, Haiter-Neto F, Nascimento EHL, Peroni LV, Freitas DQ, Hassan B. Diagnostic Accuracy of Periapical Radiography and Cone-beam Computed Tomography in Identifying Root Canal Configuration of Human Premolars. *J Endod.* 2017 Jul 1;43(7):1176–9.
23. Zhang D, Chen J, Lan G, Li M, An J, Wen X, et al. The root canal morphology in mandibular first premolars: a comparative evaluation of cone-beam computed tomography and micro-computed tomography. *Clin Oral Investig.* 2017 May 1;21(4):1007–12.



24. Nascimento EHL, Abrahão Elias MR, Vasconcelos VHF, Haiter-Neto F, Mendonça EF, Sousa TO. Ex Vivo Detection of Apical Delta in Premolars: A Comparative Study Using Periapical Radiography, Cone-beam Computed Tomography, and Micro-computed Tomography. *J Endod.* 2019 May 1;45(5):549–53.
25. Campello AF, Marceliano-Alves MF, Siqueira JF, Marques F V., Guedes FR, Lopes RT, et al. Determination of the Initial Apical Canal Diameter by the First File to Bind or Cone-beam Computed Tomographic Measurements Using Micro-computed Tomography as the Gold Standard: An Ex Vivo Study in Human Cadavers. *J Endod.* 2019 May 1;45(5):619–22.
26. Xu J, He J, Yang Q, Huang D, Zhou X, Peters OA, et al. Accuracy of Cone-beam Computed Tomography in Measuring Dentin Thickness and Its Potential of Predicting the Remaining Dentin Thickness after Removing Fractured Instruments. *J Endod.* 2017 Sep 1;43(9):1522–7.
27. Mirmohammadi H, Mahdi L, Partovi P, Khademi A, Shemesh H, Hassan B. Accuracy of cone-beam computed tomography in the detection of a second mesiobuccal root canal in endodontically treated teeth: An ex vivo study. *J Endod.* 2015 Oct 1;41(10):1678–81.
28. Ordinola-Zapata R, Martins JNR, Niemczyk S, Bramante CM. Apical root canal anatomy in the mesiobuccal root of maxillary first molars: influence of root apical shape and prevalence of apical foramina – a micro-CT study. *Int Endod J.* 2019 Aug 1;52(8):1218–27.
29. Martins JNR, Marques D, Silva EJNL, Caramês J, Mata A, Versiani MA. Prevalence of C-shaped canal morphology using cone beam computed tomography – a systematic review with meta-analysis. Vol. 52, *International Endodontic Journal*. Blackwell Publishing Ltd; 2019. p. 1556–72.
30. Maret D, Peters OA, Galibourg A, Dumoncel J, Esclassan R, Kahn JL, et al. Comparison of the accuracy of 3-dimensional cone-beam computed tomography and micro-computed tomography reconstructions by using different voxel sizes. *J Endod.* 2014 Sep 1;40(9):1321–6.