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

EMANUELE BOSCHETTI

**Avaliação, por meio de microtomografia computadorizada, da
anatomia externa e interna de pré-molares inferiores com sulcos
radiculares**

**Ribeirão Preto
2013**

EMANUELE BOSCHETTI

**Avaliação, por meio de microtomografia computadorizada, da
anatomia externa e interna de pré-molares inferiores com sulcos
radiculares**

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

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Saquy

Ribeirão Preto

2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Assinatura do autor: _____ Data: ____/____/2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Boschetti, Emanuele.

Avaliação, por meio de microtomografia computadorizada, da anatomia externa e interna de pré-molares inferiores com sulcos radiculares. Ribeirão Preto, 2013.

118p.: il.; 30cm

Dissertação de mestrado, apresentada na Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FORP-USP), área de concentração: Odontologia Restauradora - Endodontia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Saquy

1. Pré-molares inferiores. 2. Sulcos Radiculares. 3. Microtomografia Computadorizada.

FOLHA DE APROVAÇÃO

BOSCHETTI, E. Avaliação, por meio de microtomografia computadorizada, da anatomia externa e interna de pré-molares inferiores com sulcos radiculares.

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo para a obtenção do
grau de Mestre em Ciências

Programa: Odontologia Restauradora

Área de concentração: Odontologia
Restauradora (Opção: Endodontia).

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Paulo César Saquy (Orientador) Instituição: Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto/USP

Julgamento:_____ Assinatura:_____

Prof(a). Dr(a).: _____ Instituição _____

Julgamento:_____ Assinatura:_____

Prof(a). Dr(a).: _____ Instituição _____

Julgamento:_____ Assinatura:_____

Prof(a). Dr(a).: _____ Instituição _____

Julgamento:_____ Assinatura:_____

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

Dedicatória

Aos meus pais, **Walter Robinson Boschetti e Rita de Cássia Cabreira Boschetti**, meus grandes exemplos, por todo amor, carinho, dedicação, apoio, incentivo e aprendizado que me deram. Devo tudo isso a vocês e espero que fiquem cada vez mais orgulhosos de mim.

Aos meus irmãos, **Robinson Samuel Boschetti e Emanuel Boschetti**, por todo companheirismo, apoio e amor. Vocês também são meus exemplos.

Às minhas cunhadas, **Melina Mattioli Boschetti e Daniele Soares Agostinho**, por toda amizade e estarem sempre presente.

À **Valentina Mattioli Boschetti**, minha sobrinha e afilhada mais amada e alegria das nossas vidas.

Ao meu avô, **Walter Boschetti**, por toda confiança e sempre acreditar no meu potencial.

Agradecimientos

Ao **Prof. Dr. Paulo César Saquy**, por toda orientação, apoio, iniciação na carreira científica e ensinamentos compartilhados.

Ao **Prof. Dr. Manoel Damião de Sousa Neto**, por todo conhecimento compartilhado, pela orientação e paciência, foi fundamental para minha formação e crescimento profissional.

Ao **Prof. Dr. Jesus Djalma Pécora**, pelos conhecimentos enriquecedores, exemplo de pesquisador inventivo e perspicaz. Seu modo de ver a ciência e os mistérios da vida são motivadores. Admiração por sua sabedoria e cultura.

Ao **Prof. Dr. Antônio Miranda Cruz Filho**, professor, que com toda calma e sabedoria, sempre foi um grande colaborador em momentos de dificuldade. Obrigada por todo conhecimento transmitido e pela amizade construída.

Aos amigos da Pós-Graduação, **Amanda Biagi, Rafael Rezende Ribeiro, Vanessa Lessa, Keila Franceschini, Luis Eduardo Flamini, Alessandro Lamira, Fabiane Lopes, Cecília Martins, Tiago Elias, Fernanda Plategher e Breno Nantes**, por todos os ensinamentos, experiências e risadas compartilhadas. Especialmente à **Graziela Leoni e Jardel Chaves**, por toda ajuda, paciência e companheirismo.

Ao **Reginaldo Santana da Silva**, pela ajuda, alegria, brincadeiras, presente em todos os momentos.

Ao funcionário e amigo, **Carlos Feitosa do Santos**, por toda dedicação e eficácia, foi fundamental em toda minha formação.

Às funcionárias **Luiza Pitol** e **Rosângela Angelini**, pela amizade e dedicação.

Aos **familiares e amigos**, que sempre me ajudaram e apoiaram, ajudando a vencer mais essa etapa da minha vida.

À **CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**, pela ajuda financeira.

À **Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto**, que desde a graduação me acolheu e permitiu meu crescimento pessoal e profissional.

*"A mente que se abre a uma nova
ideia, jamais voltará ao seu
tamanho original."*

(Albert Einstein).

Resumo

BOSCHETTI, E. Avaliação, por meio de microtomografia computadorizada, da anatomia externa e interna de pré-molares inferiores com sulcos radiculares. 2013. 118p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

O estudo da anatomia interna do complexo sistema de canais radiculares (SCR), é de fundamental importância no diagnóstico, planejamento e plano de tratamento endodôntico. O objetivo deste estudo foi avaliar a anatomia do SCR de pré-molares inferiores com sulcos radiculares, por meio de microtomografia computadorizada (μ TC). Foram usados 69 primeiros pré-molares inferiores (1ºPMI) e 14 segundos pré-molares inferiores (2ºPMI), escaneados no microtomógrafo SkyScan 1174. Os espécimes foram reconstruídos e analisados os parâmetros bidimensionais (número, área, circularidade, diâmetro maior, diâmetro menor e fator de forma) a 1, 2 e 3 mm do forame apical e tridimensionais (volume, área de superfície, SMI, número e localização de canais acessórios), bem como as características anatômicas externas das raízes (presença, localização, profundidade e extensão dos sulcos e espessura interna e externa da dentina radicular) e análise qualitativa da anatomia interna dos modelos tridimensionais. Os resultados bidimensionais mostraram que o número máximo de canais encontrados no terço apical foi quatro. O diâmetro maior apresentou valores, em média, duas vezes maiores que o diâmetro menor nos dois grupos dentais avaliados. Os valores de circularidade e fator de forma variaram, respectivamente, de $0,43 \pm 0,25$ a $0,61 \pm 0,17$, e $0,59 \pm 0,26$ a $0,80 \pm 0,13$ evidenciando uma forma levemente achatada, com tendência circular destes canais, tanto para os primeiros quanto para os segundos pré-molares inferiores. A análise tridimensional demonstrou que as médias do volume (mm^3), de SMI e da área de superfície (mm^2) foram, respectivamente, $10,78 \pm 5,42$, $2,84 \pm 0,61$ e $58,51 \pm 16,41$ para os 1ºPMI e de $10,89 \pm 5,77$, $2,46 \pm 0,31$ e $60,64 \pm 17,46$ para os 2ºPMI. Os canais acessórios foram observados, nos terços apical e médio em 56,62% dos 1º PMI e 64,28% dos 2º PMI. Na análise radicular externa, observou-se a presença de 182 sulcos radiculares nos 1º PMI e 44 nos 2º PMI, com maior prevalência na face mesial das raízes estudadas. A maior profundidade do sulco encontrou-se na secção correspondente à metade da extensão total do mesmo e a espessura da dentina nas faces interna e externa das raízes na região dos sulcos radiculares decresceu no sentido coroa-ápice sendo a menor média de espessura interna encontrada no valor de 1 mm caracterizando a presença de uma zona de perigo. Os modelos tridimensionais mostraram maior prevalência de canais únicos que deixam a câmara pulpar e se dividem em dois canais distintos e separados (59,42%) em 1ºPMI e canais únicos desde a câmara pulpar ao ápice (35,70%) em 2ºPMI. Conclui-se que a microtomografia possibilitou o estudo de anatomia interna e externa, sendo identificados dois novos tipos morfológicos de SCR de pré-molares inferiores.

*A*bstract

BOSCHETTI, E. Evaluation by computed microtomography, the external and internal anatomy of mandibular premolars with root grooves. 2013. 118p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

The study of the internal anatomy of the complex root canal system (RCS) is of utmost importance for the diagnosis, planning and endodontic treatment plan. The aim of this study was to evaluate the anatomy of the RCS of mandibular premolars with radicular grooves by computed microtomography (μ TC). Image acquisition of 69 mandibular first premolars (1PM) and 14 mandibular second premolars (2PM) was performed using the SkyScan 1174 microtomography device. The specimens were scanned and images were reconstructed in order to analyze two-dimensional parameters (number, area, roundness, major diameter, minor diameter, and shape factor) at 1, 2 and 3 mm of the apical foramen; three-dimensional parameters (volume, surface area, SMI, number and location of accessory canals), and the external anatomic characteristics of the roots (presence, location, depth and extension of grooves and internal and external root dentin thickness). A qualitative analysis of the internal anatomy of the three-dimensional models was also performed. In the apical third, it was found up to four root canals; the major diameter presented values, on average, twice greater than those of the minor diameter in both dental groups; the values of roundness and shape factor ranged from 0.43 ± 0.25 to 0.61 ± 0.17 , and from 0.59 ± 0.26 to 0.80 ± 0.13 , respectively, demonstrating the slightly flattened shape with circular tendency of these canals, in the 1MP and 2MP. The three-dimensional analysis showed that the mean volume (mm^3), SMI and surface area (mm^2) were, respectively, 10.78 ± 5.42 , 2.84 ± 0.61 and 58.51 ± 16.41 for the 1MP and 10.89 ± 5.77 , 2.46 ± 0.31 and 60.64 ± 17.46 for the 2MP. The accessory canals were observed mostly in the apical and middle third in 56.62% of 1MP and 64.28% of 2MP. In the analysis of the external root surface, 182 radicular grooves were observed in the 1MP and 44 in the 2MP, with prevalence in the mesial face of the examined roots. The deepest groove was found in the region corresponding to half of its total length and the dentin thickness on the internal and external faces of the roots in the region of the radicular grooves decreased in a corono-apical direction, the smallest internal thickness being 1 mm, which characterizes the presence of a danger zone. The three-dimensional models showed a prevalence of single canals leaving the pulp chamber and dividing into two distinct and separate canals (type 1-2) (59.42%) in the 1MP and single canals starting from the pulp chamber up to the apex (type 1) (35.70%) in 2MP. It may be concluded that μ TC allowed the study of the internal and external anatomy of the roots, with identification of two new morphological types of SCR in mandibular premolars.

Sumário

SUMÁRIO

Introdução.....	1
Proposição.....	7
Material e Método.....	11
Resultados.....	25
Discussão.....	51
Conclusões.....	63
Referências Bibliográficas.....	67
Apêndices.....	79
Anexos.....	115

Introdução

Uma das principais causas de insucesso do tratamento endodôntico é o inadequado controle microbiano devido à incapacidade de limpar, modelar e obturar o sistema de canais radiculares (SCR) (VERTUCCI, 2005). Muitos pesquisadores mostraram que o SCR é complexo, os canais podem se ramificar, dividir e se unir (PINEDA, KUTTLER 1972; VERTUCCI 1984 KASAHARA et al., 1990), demonstrando que o conceito de canal radicular único é uma exceção e não a regra (VERTUCCI, 2005). Desse modo, o conhecimento da morfologia do SCR e suas variações são fundamentais para guiar o tratamento endodôntico (LEONI et al., 2013; VERSIANI, PECORA, SOUSA-NETO, 2013), promovendo limpeza mais efetiva do SCR e, portanto, favorecendo o sucesso da terapia endodôntica (VERTUCCI, 1984; KARTAL; YANIKOĞLU, 1992; KRASNER, RANKOW, 2004; SACHDEVA et al, 2008).

A descrição anatômica de pré-molares inferiores mais frequentes é a de um dente com uma única raiz cônica ou levemente achatada no sentido méso-distal, com um canal amplo e retilíneo (PINHEIRO JÚNIOR et al, 1994). No entanto, dois canais radiculares podem estar presentes em dentes unirradiculares, como incisivos e pré-molares inferiores (VERTUCCI, 1978; VERTUCCI, 1984; TROPE; ELFENBEIN; TRONSTAD, 1986; WALKER, 1988; ROBINSON et al., 2002; VELMURUGAN; SANDHYA, 2009; LI et al., 2012; YU et al., 2012). Da mesma forma, a ocorrência de mais de uma raiz ou canal radicular, bem como a presença de sulcos radiculares no sentido cérvico-apical de pré-molares inferiores, também é citada na literatura (VERTUCCI, 1978; PINEDA, KUTLER, 1972).

SLOWEY (1979) relatou que cada dente, além das características anatômicas próprias do grupo dental, pode ter algumas variações atípicas, e sugeriu que pré-molares inferiores possuem os maiores desafios anatômicos de todos os

dentes no que diz respeito a alcançar o sucesso do tratamento endodôntico. As possíveis razões são as variações na morfologia do canal radicular e dificuldade de acesso aos sistemas de canais adicionais quando presentes (NALLAPATI, 2005; KHEDMAT; ASSADIAN; SARAVANI, 2010).

VERTUCCI (1984), estudando a anatomia interna de 800 pré-molares inferiores por meio de diafanização, observou nos primeiros e segundos pré-molares a presença de apenas um canal em 74% e 97,5% e dois canais em 25,5% e 2,5%, respectivamente. A presença de três canais foi observada apenas em primeiros pré-molares em 0,5% dos dentes analisados.

TROPE; ELFENBEIN; TRONSTAD (1986) examinando, radiograficamente, 400 pacientes da raça branca e 400 da raça negra, verificaram nos primeiros pré-molares inferiores a presença de canal único em 86,3% dos pacientes da raça branca e 67,2% da raça negra e dois canais em 13,7% e 32,8%, respectivamente. Os segundos pré-molares inferiores apresentaram apenas um canal em 97,2% dos pacientes da raça branca e 92,8% dos pacientes da raça negra e dois canais em 2,8% e 7,2%, respectivamente.

Nos pré-molares inferiores, sulcos radiculares nas faces proximais das raízes são comumente associados à presença de canais adicionais (SIMON et al., 2000; FAN et al., 2008) e relevantes para a ocorrência do canal em forma de C (CLEGHORN; CHRISTIE; DONG, 2007a; CLEGHORN; CHRISTIE; DONG, 2007b; FAN et al., 2008; VELMURUGAN; SANDHYA, 2009). O diagnóstico destas variações é o primeiro e mais importante passo para realizar um tratamento bem sucedido (MANNING, 1991).

VERTUCCI (1984) classificou e descreveu o SCR de dentes humanos permanentes em oito diferentes tipos morfológicos de acordo com o número de

canais e localização das suas divisões, sendo o sistema de classificação mais citado nos estudos de anatomia interna. Posteriormente, alguns estudos acrescentaram outros tipos morfológicos a esta classificação (KARTAL; YANIKOĞLU, 1992; GULABIVALA et al., 2001; GULABIVALA et al., 2002; NG et al., 2001; SERT; BAYIRLI, 2004; AWEWDEH, AL-QUDAH, 2008; LEONI et al., 2013). A configuração do tipo V de Vertucci, em que um canal se divide em dois, no terço cervical ou médio, parece ser uma das variações anatômicas mais frequentes nos pré-molares inferiores (LIU et al., 2013). No entanto, relatos sobre a presença de canais em forma de C ou múltiplos canais também podem ser encontrados na literatura (CLEGHORN; CHRISTIE; DONG, 2008; FAN et al., 2008; FAN et al., 2012; YANG et al., 2013; GU; ZHANG; LIAO, 2013; ORDINOLA-ZAPATA et al., 2013).

A literatura evidência uma série de metodologias para o estudo da morfologia interna e externa de dentes foi descrita, tais como: técnicas radiográficas (MUELLER, 1933; AMOS, 1955; PINEDA, KUTTLER, 1972; ZILLICH, DOWSON, 1973; TROPE; ELFENBEIN; TRONSTAD, 1986; YOSHIOKA et al., 2004), diafanização (PÉCORA et al., 1991; PINHEIRO JÚNIOR et al., 1994; SERT, BAYIRLI, 2004; AWEWDEH, AL-QUDAH, 2008), secções transversais (BARRETT, 1925; KEREKES; TRONSTAD; SWEDEN, 1977; LU; YANG; PAI, 2006; KHEDMAT; ASSADIAN; SARAVANI, 2010) e análise por meio de lupa estereoscópica (BAISDEN; KULILD; WELLER, 1992). Estes métodos são, em sua maioria, invasivos e baseiam-se em análises bidimensionais e, portanto, não podem refletir com precisão a morfologia do objeto a ser estudado.

A microtomografia computadorizada (μ TC) tem sido utilizada para investigar secções transversais das raízes devido à sua alta resolução e não destruição dos espécimes (PETERS et al., 2000; PLOTINO et al., 2006; NAIR; NAIR, 2007), o que

trouxo um diferencial no campo da Endodontia, sendo utilizada em estudos de anatomia interna de diferentes grupos dentais (PLOTINO et al., 2006; FAN et al., 2009; SOMMA et al., 2009; PETERS; PAQUÉ, 2011; VERSIANI; PÉCORA; SOUSA-NETO, 2011b; VERSIANI; SOUSA-NETO; PÉCORA, 2013). A μ TC é uma técnica reprodutível, não invasiva e não destrutiva, que permite a avaliação quantitativa e qualitativa do SCR (VERSIANI; PÉCORA; SOUSANETO, 2011b; VERSIANI; SOUSA-NETO; PÉCORA, 2011; VERSIANI; PÉCORA, SOUSA-NETO, 2013; LEONI et al., 2013). A μ TC possibilita a investigação detalhada da anatomia dental, tanto externa como interna, que podem ser observadas em simultâneo ou em separado a partir de diferentes ângulos por meio da reconstrução das imagens tridimensionais. (PLOTINO et al., 2006; GRANDE et al, 2008; ENDAL et al., 2011; VERMA; LOVE, 2011; VERSIANI; PÉCORA, SOUSA-NETO, 2013; LEONI et al., 2013).

A complexidade e a variação anatômica do SCR de pré-molares inferiores muitas vezes passam despercebidas pelo cirurgião-dentista. Em 1994, INGLE; BAKLAND relataram a alta taxa de falha no tratamento de pré-molares inferiores decorrente da incapacidade de reconhecer e tratar adequadamente todos os canais radiculares. Deste modo, os resultados fornecidos pela μ TC trazem perspectivas de evolução no estudo da morfologia interna e externa para aquisição de informações valiosas para melhor planejamento e execução do tratamento endodôntico de pré-molares inferiores.

Proposição

O objetivo deste estudo foi avaliar, por meio de microtomografia computadorizada, pré-molares inferiores com presença de sulcos radiculares em relação à anatomia interna utilizando parâmetros bidimensionais: número, área, circularidade, diâmetro maior, diâmetro menor menor e fator de forma; e modelos tridimensionais: volume, área de superfície e *Structure Index Model* (SMI) do canal radicular, bem como a classificação do número e localização da divisão dos canais radiculares; e em relação a anatomia externa: extensão e profundidade dos sulcos radiculares e espessura de dentina.

*M*aterial e *M*étodo

Seleção e preparo da amostra

Após aprovação do presente estudo pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo (anexo 1), foram obtidos, do Banco de dentes humanos da FORP-USP, 83 pré-molares inferiores (PMI) humanos com rizogênese completa, estrutura radicular hígida, unirradiculares e com presença de sulcos radiculares, mantidos em solução de timol a 0,1%. Os dentes foram lavados em água corrente por 24 horas e, em seguida, tiveram sua superfície radicular externa limpa por meio de raspagem com ultrassom (Profi II Ceramic, Dabi Atlante Ltda, Ribeirão Preto, SP, Brasil).

Os dentes foram classificados em primeiros e segundos pré-molares inferiores (1º PMI e 2º PMI, respectivamente) totalizando 69 primeiros e 14 segundos PMI. Estes dentes tiveram seu comprimento medido no longo eixo desde o ápice radicular até a superfície oclusal da coroa por meio de paquímetro digital (Digimess, Shiko Precision Gaging Ltd, China).

Escaneamento

Para a obtenção dos dados morfométricos, utilizou-se o microtomógrafo SkyScan modelo 1174 v.2 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica) (Figura 1A), do Laboratório de pesquisa em Endodontia do Departamento de Odontologia Restauradora da FORP-USP. O aparelho é composto por um tubo de raios-X de microfoco com fonte de alta tensão (50 kV, 800 µA), um porta-amostra com manipulador de precisão e um detector baseado em uma câmera *Charge Coupled Device* (CCD) de 1.3 Mp (1304 x 1024 pixel). Este dispositivo permite o

escaneamento de amostra com até 15 mm de altura usando resolução espacial isotrópica que pode variar de 6 a 30 μm . Todo este sistema está conectado a um computador Dell Precision™ T5500 WorkStation (Dell Inc., São Paulo, SP, Brasil) com sistema operacional Windows 7 de 64 bits, utilizado no controle, aquisição de dados, reconstrução e análise dos atributos das imagens.

Antes do procedimento de escaneamento dos espécimes, foram utilizados recursos de correção geométrica e do campo de aquisição (*flat-field correction*). Uma porção de cera (Cera 7, Lyzanda, São Paulo, SP, Brasil) de aproximadamente 1 cm de altura foi acoplado a um microposicionador metálico e este firmemente fixado à mesa giratória (Figura 1B), por meio de um parafuso de controle manual, no interior da câmara do microtomógrafo. Cada espécime foi individualmente inserido no centro da cera, que possibilitou o seu posicionamento de forma perpendicular em relação à fonte de radiação durante o escaneamento, reduzindo-se assim a possibilidade de distorção da imagem (Figura 1B).

Figura 1. (A) Microtomógrafo SkyScan modelo 1174 v.2 (SkyScan, Kontich, Bélgica). **(B)** Posicionamento do espécime no interior da câmara do microtomógrafo.

Após o posicionamento do dente e fechamento do compartimento da câmara do microtomógrafo, a fonte de raios-X foi acionada por meio do botão de energia na

barra de ferramentas do Programa de Controle SkyScan 1174 v.2 (Figura 2A). Depois do processo de *aging*, correspondente ao pré-aquecimento do tubo de raios - X, no qual a tensão e a corrente sobem suavemente, verificou-se a correta posição do espécime com auxílio da ferramenta *Video Image* (Figura 2B) no mesmo programa.

Figura 2. Barra de ferramentas do Programa de Controle SkyScan 1174 versão 2. **(A)** Botão de energia. **(B)** Video Image.

Após a confirmação do posicionamento do espécime, iniciou-se a aquisição das projeções do espécime (Figura 3) em diversas angulações ao longo de uma rotação de 180° e passos de rotação de um grau com tamanho de voxel isotrópico de 22,9 μm , estabelecendo um tempo de escaneamento de aproximadamente 23 minutos por espécime. Foi ainda utilizado um filtro de 0,5 mm de alumínio posicionado em frente à fonte de raios- X que permitiu alterar a sensibilidade à radiação policromática.

Figura 3. Confirmação do posicionamento do espécime no Controle de Programa SkyScan 1174 v.2. Em destaque botão *Video Image*.

As projeções bidimensionais das imagens geradas foram arquivadas no formato *Tagged Image File* (TIFF). O detalhamento dos parâmetros utilizados na aquisição das projeções dos espécimes está disposto no Anexo 1.

Reconstrução tridimensional

A etapa seguinte consistiu na reconstrução das secções transversais a partir das imagens das projeções angulares por meio do algoritmo de reconstrução de feixe cônico de Feldkamp modificado, usando o programa NRecon v.1.6.6.0 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica), resultando na completa representação da microestrutura

interna de cada amostra. Neste sentido, foi aplicada redução de artefatos em forma de anel (*Ring Artifact*) no valor de 5 (escala de 0-20), de endurecimento de feixe (*Beam Hardening*) no percentual de 42% (escala de 0 a 100%), de suavização (*Smoothing*) no valor de 5 (escala de 0 a 10) e com o histograma de contraste variando de 0,04 (valor mínimo) a 0,13 (valor máximo). As secções transversais reconstruídas foram salvas em formato *Bitmap* (BMP). O detalhamento dos parâmetros de reconstrução das secções transversais dos espécimes está disposto no Anexo 2.

Processamento e análise das imagens

Após a reconstrução, realizou-se o processamento e análise das imagens com auxílio do programa CTAn v.1.13.5.1+ (Bruker microCT, Kontich, Bélgica) que consistiu, inicialmente, na utilização de operações matemáticas para alterar valores dos *pixels* do canal radicular, em um processo denominado binarização ou segmentação. Estas operações matemáticas consistiram na elaboração e execução de uma rotina computacional (macro) com a ferramenta *Custom Processing*, utilizando uma sequência de *plug-ins*, visando padronizar e automatizar o processo de obtenção de dados.

Neste processo foi possível dividir a imagem em regiões, reconhecendo-as como objetos independentes uns dos outros e do fundo, esse processo foi feito para esmalte, dentina e canal radicular.

A seguir, por meio do *plug-in Individual Object Analysis (2D space)*, foram obtidos dados referentes aos parâmetros bidimensionais de número, área (mm²), circularidade, diâmetro maior (mm) e diâmetro menor (mm), e fator de forma (FF)

dos canais radiculares das secções transversais a 1, 2 e 3 mm do forame apical. O fator de forma é calculado pela equação $(4 \cdot \pi A) / P^2$, onde 'A' e 'P' são a área objeto e perímetro, respectivamente. O alongamento do objeto analisado resulta em menores valores do fator de forma. A circularidade ou *roundness* (R) de um objeto

bidimensional é definida pela fórmula $R = \frac{4A}{(\pi \cdot (d_{max})^2)}$ em que A e d correspondem à área e ao diâmetro do objeto, respectivamente. Os valores de circularidade variam de 0 a 1, sendo que “0” corresponde a uma reta e “1” a um círculo perfeito (Figura 4).

Figura 4. Ilustração do parâmetro de circularidade.

Em seguida, por meio do *plug-in 3D analysis*, foi possível obter a análise quantitativa tridimensional do volume (mm³), área de superfície (mm²) e *Structure Index Model* (SMI) considerando-se o canal radicular como um todo desde a junção cimento-esmalte (JCE) até o forame apical. O SMI envolve a mensuração da convexidade de superfície de um sólido. Seus valores variam de 0 a 4, sendo que os

valores 0, 3 e 4 correspondem, respectivamente, a um plano, um cilindro e a uma esfera regulares (Figura 5).

Figura 5. Representação dos valores de SMI. **(A)** representa um plano e corresponde ao valor 0. **(B)** representa um cilindro e corresponde ao valor 3. **(C)** representa uma esfera e corresponde ao valor 4.

De forma complementar, no programa CTAn v.1.13.5.1+ (Bruker microCT, Kontich, Bélgica), gerou-se modelos tridimensionais dos espécimes por meio do algoritmo *double time cubes*, no formato P3G e, a partir do programa CTVol v.2.2.3.0 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica), foi feita a visualização realista dos modelos tridimensionais para a análise qualitativa da anatomia externa e interna com observação dos diferentes tipos morfológicos dos canais radiculares, que tiveram sua configuração classificada a partir do tradicional sistema de classificação de Vertucci e das classificações adicionais apresentadas na literatura. KARTAL; YANIKOĞLU (1992), descreveram 2 novas configurações. Posteriormente, GULABIVALA (2001) e NG (2001), descreveram 10 classes adicionais de configuração do SCR. Em 2004, SERT; BAYIRLI identificaram e descreveram 14 novos tipos morfológicos. AWAWDEH, AL-QUDAH (2008) descreveram 1 tipo

adicional não relatado na literatura anteriormente. E, atualmente, LEONI (2013), descreveram mais 8 novas configurações do SCR.

A classificação de Vertucci (1984) se baseia no número e divisão dos canais sendo que: Tipo I - Um único canal se estende da câmara pulpar até o ápice; Tipo II - Dois canais deixam a câmara pulpar e se juntam próximo ao ápice para formar um único canal; Tipo III - Um único canal deixa a câmara pulpar, divide em dois dentro da raiz, e então se fundem para terminar como um canal; Tipo IV - Dois separados e distintos canais estendem da câmara pulpar até o ápice; Tipo V - Um único canal deixa a câmara pulpar e divide em dois separados e distintos canais com forames apicais separados; Tipo VI - Dois separados canais deixam a câmara pulpar, fundem no corpo da raiz, e revide próximo ao ápice para terminar como dois distintos canais; Tipo VII - Um único canal deixa a câmara pulpar, divide e então se fundem no corpo da raiz, e finalmente redivide em dois distintos canais próximo ao ápice; Tipo VIII - Três separados e distintos canais se estendem desde a câmara pulpar até o ápice (Figura 6).

Figura 6. Representação esquemática dos tipos de canais radiculares segundo classificação de Vertucci (1984).

O número e localização (terço apical, médio e cervical) dos canais acessórios e deltas apicais, foram avaliados através de cortes contínuos no plano transversal a partir das imagens reconstruídas no programa DataViewer v.1.5.0 64-bit (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica)

Através do programa CTVol v.2.2.3.0 (Bruker-microCT, Kontich, Bélgica), foi feita a visualização da anatomia externa demonstrando diferentes localizações e número de forames apicais por toda extensão do terço apical da raiz dos pré-molares inferiores

Análise do sulco radicular e espessura de dentina

A avaliação inicial dos sulcos radiculares foi feita por meio de inspeção a olho nú ou com auxílio de lupa (4x), sendo anotados os seguintes aspectos:

- Presença e número de sulcos rasos e profundos;
- Face da raiz onde estão presentes os sulcos;

Através do programa CTAn v.1.13.5.1+ (Bruker microCT, Kontich, Bélgica) foi realizada também uma avaliação microtomográfica da superfície radicular, sendo feita a mensuração da extensão e profundidade do sulco mais expressivo, bem como a mensuração da espessura de dentina nas faces interna e externa (Figura 7) através da ferramenta *Measure Tool*. Estas medidas de profundidade e espessura foram realizadas na superfície radicular em 5 secções transversais pré-estabelecidas a partir da secção transversal correspondente à metade da extensão do sulco radicular (M); 2 mm acima da secção central (M + 2); 1 mm acima da secção central (M + 1); na secção central (M); 2 mm abaixo da secção central (M – 2); 1 mm abaixo da secção central (M – 1) (Figura 8).

Figura 7. Mensuração da espessura da dentina na face interna (A) e externa (B) da raiz e da profundidade do sulco (C).

Figura 8. Pontos anatômicos de referência: Junção Cimento Esmalte (JCE), Secção Cervical do Sulco (SCS), Secção Apical do Sulco (SAS), Secção do Forame (SF), Secção transversal correspondente à metade da extensão do sulco radicular (M), 2 mm acima da secção central (M + 2), 1 mm acima da secção central (M + 1), na secção central (M), 2 mm abaixo da secção central (M - 2), 1 mm abaixo da secção central (M - 1).

Ainda com o auxílio do programa CTAn v.1.13.5.1+ (Bruker microCT, Kontich, Bélgica), foi realizada a avaliação microtomográfica mensuração dos comprimentos da Junção Cimento Esmalte (JCE) até a Secção Cervical do Sulco (SCS), da Secção Cervical do Sulco à Secção Apical do Sulco (SAS), da Secção Apical do Sulco à Secção do Forame (SF), da Junção Cimento Esmalte à Secção do Forame, e da Junção Cimento Esmalte à secção transversal central do sulco (M) (Figura 8).

Análise estatística

A análise estatística foi realizada com auxílio do programa GraphPad InStat versão 3.06, 32 bit for Windows (GraphPad Software, Inc., La Jolla, CA, USA). Os dados de cada parâmetro avaliado foram submetidos ao teste estatístico Kolmogorov-Smirnov com o objetivo de verificar a distribuição amostral. O nível de significância foi estabelecido em 5% ($p < 0,05$). Considerando-se a distribuição normal dos resultados, aplicou-se o teste paramétrico de análise de variância (One-Way ANOVA) e teste *post hoc* de Tukey para avaliação de diferença entre as médias dos milímetros avaliados. Considerando-se a distribuição não-normal dos resultados, aplicou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis e *post hoc* de Dunn para comparação entre os grupos e para comparação entre os milímetros do mesmo grupo. O teste de correlação de Person foi aplicado na relação entre o comprimento e profundidade do sulco com o número de canais.

Resultados

O comprimento médio dos primeiros pré-molares inferiores ($n = 69$) foi de $22,45 \pm 1,48$ mm, e dos segundos ($n = 14$) foi de $23,00 \pm 1,97$ mm, conforme foi observado.

Avaliação bidimensional

Em relação a análise bidimensional, a Tabela I mostra o número de canais encontrados nos 3 milímetros apicais dos espécimes avaliados. O número máximo de canais encontrados foi 4, sendo que a 1 mm do forame apical foi prevalente a presença de 2 canais tanto para o grupos dos primeiros pré-molares inferiores quanto para o grupo dos segundos pré-molares inferiores.

Tabela I. Número e distribuição da frequência (n) dos canais radiculares localizados a 1, 2 e 3 mm do forame apical dos primeiros e segundos pré-molares inferiores.

Distância do Forame	Número de Canais	1° PMI	2° PMI
		$n = 69$	$n = 14$
1 mm	1	23,18% (16)	50% (7)
	2	52,18% (72)	42,85% (12)
	3	18,85% (39)	0% (0)
	4	5,79% (16)	7,15% (4)
	Total	143	23
2 mm	1	23,18% (16)	57,14% (8)
	2	60,88% (84)	21,43% (6)
	3	14,49% (30)	21,43% (9)
	4	1,45% (4)	0% (0)
	Total	134	23
3 mm	1	21,75% (15)	42,85% (6)
	2	63,76% (88)	50% (14)
	3	13,05% (27)	7,15% (3)
	4	1,45% (4)	0% (0)
	Total	134	23

A análise morfométrica bidimensional destes canais revelou que a área dos canais radiculares aumentou gradualmente a cada milímetro apical avaliado, apresentando apenas diferença estatística significativa entre o primeiro e terceiro milímetro no grupo dos primeiros pré-molares inferiores. ($p < 0,05$) (Tabela II).

A circularidade variou entre $0,43 \pm 0,25$ (valor mínimo) e $0,61 \pm 0,17$ (valor máximo) demonstrando a forma levemente achatada com tendência circular destes canais, sendo que os valores deste parâmetro não apresentaram diferença estatística em nenhum dos grupos dentais avaliados ($p > 0,05$) (Tabela II).

Em relação aos diâmetros, o diâmetro maior apresentou valores, em média, duas vezes maiores que o diâmetro menor nos dois grupos dentais. Nos primeiros pré-molares inferiores, o diâmetro maior foi de 0,34 mm e o diâmetro menor foi de 0,20 mm no primeiro milímetro apical avaliado. Houve aumento de 14% do diâmetro maior e de 5% do diâmetro menor a 3 milímetros do ápice, com diferença estatisticamente significativa entre o primeiro e terceiro milímetros apicais ($p < 0,05$). Nos segundos pré-molares inferiores o diâmetro maior foi de 0,49 mm e o diâmetro menor foi de 0,25 mm no primeiro milímetro avaliado. Houve aumento de 25% do diâmetro maior e de 5% do diâmetro menor a 3 milímetros do ápice, sem diferença estatística significativa entre os milímetros apicais avaliados ($p > 0,05$) (Tabela II).

O fator de forma variou entre $0,75 \pm 0,17$ e $0,80 \pm 0,13$ nos primeiros pré-molares, com diferença estatisticamente significativa entre o primeiro e terceiro milímetros apicais avaliados ($p < 0,05$), e variou de $0,59 \pm 0,26$ a $0,69 \pm 0,18$ nos segundos pré-molares inferiores, porém, sem diferenças estatísticas entre os milímetros avaliados ($p > 0,05$), também demonstrando a forma levemente achatada com tendência circular destes canais nos dois grupos dentais estudados. (Tabela II).

Tabela II. Análise morfométrica bidimensional de área, circularidade, maior e menor diâmetro (média $\pm$ desvio padrão).

Amostra (n)	Distância do Forame	Canais Radiculares				
		Área (mm ²)	Circularidade	Maior Diâmetro (mm)	Menor Diâmetro (mm)	Fator de Forma (mm)
1° PMI (69)	1 mm	0,06 $\pm$ 0,10 ^a	0,61 $\pm$ 0,17	0,34 $\pm$ 0,26 ^a	0,20 $\pm$ 0,10 ^a	0,80 $\pm$ 0,13 ^a
	2 mm	0,08 $\pm$ 0,14 ^{ab}	0,56 $\pm$ 0,19	0,41 $\pm$ 0,38 ^{ab}	0,21 $\pm$ 0,13 ^{ab}	0,76 $\pm$ 0,16 ^{ab}
	3 mm	0,12 $\pm$ 0,22 ^b	0,56 $\pm$ 0,19	0,48 $\pm$ 0,46 ^b	0,25 $\pm$ 0,16 ^b	0,75 $\pm$ 0,17 ^b
2° PMI (14)	1 mm	0,11 $\pm$ 0,12	0,51 $\pm$ 0,20	0,49 $\pm$ 0,32	0,25 $\pm$ 0,16	0,69 $\pm$ 0,18
	2 mm	0,13 $\pm$ 0,17	0,51 $\pm$ 0,25	0,59 $\pm$ 0,54	0,27 $\pm$ 0,18	0,67 $\pm$ 0,24
	3 mm	0,18 $\pm$ 0,25	0,43 $\pm$ 0,25	0,74 $\pm$ 0,58	0,30 $\pm$ 0,22	0,59 $\pm$ 0,26

Letras diferentes significam diferença estatística dentro do mesmo grupo (Teste Kruskal-Wallis para amostras independentes $p < 0,05$).

Avaliação tridimensional

A análise morfométrica dos modelos tridimensionais mostrou que a média do volume foi de $10,78 \pm 5,42$ mm³ para primeiros pré-molares e de $10,89 \pm 5,77$ mm³ para os segundos pré-molares. A média da área de superfície foi, respectivamente, de $58,51 \pm 16,41$ mm² e $60,64 \pm 17,46$ mm² para primeiros e segundos pré-molares. O parâmetro do SMI apresentou média de $2,84 \pm 0,61$ para os primeiros pré-molares e $2,46 \pm 0,31$ para os segundos pré-molares sugerindo forma geométrica tridimensional com tendência a um cilindro (Tabela III).

Tabela III. Análise morfométrica tridimensional de volume, área de superfície e SMI.

Amostra	Canais Radiculares		
	Volume (mm ³)	Área de Superfície (mm ²)	SMI
1° PMI	10,78 $\pm$ 5,42	58,51 $\pm$ 16,41	2,84 $\pm$ 0,61
2° PMI	10,89 $\pm$ 5,77	60,64 $\pm$ 17,46	2,46 $\pm$ 0,31

Análise Qualitativa

Os modelos tridimensionais evidenciaram que 97,12% dos primeiros e 92,80% dos segundos pré-molares inferiores puderam ser classificados de acordo com a classificação de Vertucci (1984). Sendo a classificação do Tipo V de Vertucci foi mais prevalente nos primeiros pré-molares, presente em 59,42% das amostras. Já nos segundos pré-molares a configuração tipo I de Vertucci foi mais prevalente, presente em 35,70% das amostras. Canais radiculares representados por tipos morfológicos adicionais já descritos na literatura foram encontrados em 7,24% dos primeiros pré-molares, sendo 1,44% descrito por SERT; BAYRILI (2004) e 5,80% descrito por AWAWDEH, AL-QUDAH (2008). Novas configurações, ainda não relatadas na literatura foram encontradas em 1,44% dos primeiros pré-molares e em 7,20% dos segundos pré-molares e seguem descritas abaixo (Figura 9):

Tipo 1-2-5-4-5-4 (1ºPMI): Um único canal deixa a câmara pulpar e se separa em dois canais que logo se dividem em cinco canais, depois se fundem em quatro canais que logo se dividem novamente em cinco canais e posteriormente terminam se dividindo em quatro canais.

Tipo 1-3-2-3 (2ºPMI): Um único canal deixa a câmara pulpar e se separa em três canais na região média, dois canais se fundem continuando como dois canais separados que posteriormente se dividem em três canais novamente na região apical.

Somado a isso, foi possível observar a relação entre presença de sulcos e grau de achatamento dos canais radiculares, evidenciando em muitos casos a presença de canais em forma de C (Figuras 1-5).

Figura 9. Anatomia interna do sistema de canais radiculares, segundo a classificação de Vertucci (1984) e de canais radiculares representados por tipos morfológicos adicionais de pré-molares inferiores.

Podemos observar nas Figuras 10 e 11 as diferentes configurações morfológicas dos canais radiculares nos primeiros e segundos pré-molares inferiores.

Figura 10. Primeiros pré-molares inferiores representados por diferentes tipos morfológicos de canais radiculares.

Figura 11. Segundos pré-molares inferiores representados por diferentes tipos morfológicos de canais radiculares.

Já nas Figuras 12 e 13 podemos observar a relação entre a anatomia interna e externa de primeiros e segundos pré-molares inferiores, numa visão proximal (A), uma visão proximal em transparência (B) e uma visão apical (C).

Figura 12. Relação anatomia interna e externa de primeiros pré-molares inferiores. **(A)** Visão proximal. **(B)** Visão proximal em transparência. **(C)** Visão apical.

Figura 13. Relação anatomia interna e externa de segundos pré-molares inferiores. **(A)** Visão proximal. **(B)** Visão proximal em transparência. **(C)** Visão apical

A avaliação dos canais acessórios mostrou que a presença destes canais variou de um a cinco canais que foram observados nos terços apical e médio em 56,62% dos primeiros pré-molares e 64,28% dos segundos pré-molares inferiores. A maior frequência foi de apenas um canal acessório tanto no terço apical quanto no médio nos dois grupos dentais avaliados (Tabela IV).

Tabela IV. Frequência de canais acessórios (n) nos terço apical e médio de primeiros e segundos pré-molares inferiores avaliados no exame microtomográfico.

Número de Canais Acessórios	1º PMI (n = 39)		2º PMI (n = 9)	
	Terço Apical (n = 26)	Terço Médio (n = 21)	Terço Apical (n = 6)	Terço Médio (n = 5)
1	69,23% (18)	95,24% (20)	83,33% (5)	80% (4)
2	26,92% (14)	4,76% (2)	0% (0)	20% (2)
3	0% (0)	0% (0)	16,67% (3)	0% (0)
4	0% (0)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
5	3,85% (5)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
Total	37	22	8	6

Deltas apicais foram observados em 4,35% dos primeiros pré-molares e 7,14% dos segundos pré-molares inferiores. Esta complexidade anatômica da região apical pode ser observada internamente na Figura 14 que mostra uma diversidade de localização e número de deltas apicais, e externamente na Figura 15 que mostra diferentes localizações dos vários forames apicais.

Figura 14. Anatomia interna apical onde é possível observar a complexidade da região com deltas apicais nos pré-molares inferiores.

Figura 15. Anatomia externa apical demonstrando diferentes localizações e número de forames apicais por toda extensão do terço apical da raiz de pré-molares inferiores (setas).

Avaliação morfológica radicular externa

Um total de 182 sulcos radiculares (rasos e profundos) foi observado nos primeiros PMI e 44 sulcos no grupo dos segundos PMI, sendo que a localização mais prevalente foi na face mesial das raízes em ambos os grupos, presentes 56,60% em primeiro pré-molares e 54,55% em segundos pré-molares inferiores (Tabela V).

Tabela V. Número e distribuição dos sulcos radiculares nos primeiros e segundos PMI observados a olho nú.

Localização	1º PMI			2º PMI		
	Sulco (n)	Sulco Único	Sulco Duplo	Sulco (n)	Sulco Único	Sulco Duplo
Mesial	103	33	70	24	2	22
Distal	64	52	12	14	8	6
Lingual	-	-	-	1	1	-
Vestibular	15	15	-	5	5	-
Total	182	100	82	44	16	28

Pode-se observar através da análise estatística de correlação que a maior profundidade (r : 0,10 para os 1ºPM e r : 0,47 para os 2ºPM inferiores) e comprimento (r : 0,05 para os 1ºPM e r : 0,45 para os 2ºPM inferiores) dos sulcos radiculares não estão diretamente relacionados ao maior número de canais tanto nos primeiros como segundos pré-molares inferiores. Porém, através da análise qualitativa (Figuras 9, 12, 13 e 16), observamos que as variações anatômicas do SCR (número de canais e achatamentos) nos casos de sulcos duplos ocorrem próximas aos sulcos mais profundos, assim, uma nova análise de número e distribuição desses sulcos, considerados mais profundos, mostrou maior incidência na face mesial das raízes, sendo 95,65% nos primeiros PMI e de 78,58% nos segundo PMI (Tabela VI).

Tabela VI. Incidência dos sulcos radiculares profundos observados a olho nú.

	Mesial	Distal	Vestibular	Lingual
1º PMI (n=69)	95,65% (66)	2,90% (2)	1,45% (1)	0% (0)
2º PMI (n=14)	78,58% (11)	0% (0)	14,28% (2)	7,14 (1)

Figura 16. Influência dos sulcos radiculares na anatomia interna de pré-molares inferiores.

A profundidade do sulco apresentou valores maiores na secção transversal correspondente à metade da extensão total do sulco (M) tanto para os primeiros ($1,14 \pm 0,61$ mm) como para os segundos PMI ($1,10 \pm 0,59$ mm), porém apresentaram diferenças estatísticas significantes entre as secções transversais correspondentes a secção central do sulco (M), secção a 1 mm acima de M (M + 1), secção a 1 mm abaixo de M (M – 1) com as secções 2 mm acima de M (M + 2) e a 2 mm abaixo de M (M – 2) nos primeiros PMI ($P < 0,05$). A espessura da dentina nas faces interna e externa das raízes na região dos sulcos radiculares decresceu no sentido coroa-ápice nos dois grupos dentais. A espessura interna, nos primeiros PMI, apresentou diferença estatística significativa entre a secção 2 mm acima da secção central (M + 2) com todas as outras secções transversais do sulco (M + 1, M, M – 1, M – 2), já a espessura externa apresentou diferença estatisticamente significativa entre todas as secções transversais avaliadas ($P < 0,05$). Já os segundos PMI não apresentaram diferenças estatisticamente significantes em nenhum parâmetro avaliado ($p > 0,05$) (Tabela VII).

Tabela VII. Análise dos sulcos radiculares e raízes dos primeiros e segundos pré-molares inferiores.

Amostra (n)	Medidas do Sulco	Sulcos	Raízes	
		Profundidade do Sulco	Espessura Interna	Espessura Externa
1° PMI (69)	M + 2	$0,75 \pm 0,47^a$	$1,31 \pm 0,46^a$	$1,31 \pm 0,25^a$
	M + 1	$1,04 \pm 0,60^b$	$1,12 \pm 0,38^b$	$1,21 \pm 0,25^{ab}$
	M	$1,13 \pm 0,62^b$	$1,03 \pm 0,30^b$	$1,25 \pm 0,24^{bc}$
	M - 1	$1,01 \pm 0,54^b$	$1,00 \pm 0,35^b$	$1,07 \pm 0,26^{cd}$
	M - 2	$0,85 \pm 0,44^a$	$1,00 \pm 0,30^b$	$1,02 \pm 0,23^d$
2° PMI (14)	M + 2	$0,64 \pm 0,31$	$1,49 \pm 0,33$	$1,41 \pm 0,36$
	M + 1	$0,90 \pm 0,54$	$1,42 \pm 0,39$	$1,29 \pm 0,28$
	M	$1,10 \pm 0,59$	$1,29 \pm 0,48$	$1,24 \pm 0,32$
	M - 1	$1,09 \pm 0,60$	$1,12 \pm 0,40$	$1,15 \pm 0,29$
	M - 2	$0,97 \pm 0,59$	$1,09 \pm 0,36$	$1,07 \pm 0,33$

Letras diferentes indicam diferença estatística dentro do mesmo grupo (1°PMI: Teste Kruskal-Wallis para amostras independentes $p < 0,05$; 2°PMI: Teste de Tukey para amostras independentes $p < 0,05$).

A média do comprimento da junção cimento-esmalte (JCE) á secção cervical do sulco (SCS) foi de $3,10 \pm 1,45$ mm nos primeiros pré-molares e de $2,71 \pm 1,53$ mm nos segundos pré-molares inferiores. A média do comprimento do sulco, que vai desde a SCS à secção apical do sulco (SAS) foi de $8,51 \pm 1,99$ mm e de $8,91 \pm 1,75$ mm nos primeiros e segundos pré-molares inferiores, respectivamente. A média do comprimento da SAS à secção do forame (SF) foi de $1,82 \pm 1,80$ mm e $2,05 \pm 1,33$ mm nos primeiros e segundos pré-molares inferiores, respectivamente. A média do comprimento das raízes, que corresponde da JCE à SF foi de $13,43 \pm 1,42$ mm e $13,67 \pm 1,87$ mm. E a média do comprimento da JCE à secção transversal correspondente ao meio do sulco (M) é de $7,35 \pm 1,99$ mm e $7,16 \pm 1,45$ mm em primeiros e segundos pré-molares, respectivamente (Figura 17).

Figura 17. Reconstrução tridimensional mostrando a média das distâncias ($\pm$ DP) da JCE à SCS, da SCS à SAS, da SAS à SF, da JCE à SF e da JCE à secção transversal correspondente ao meio do sulco (M) em primeiros e segundos pré-molares inferiores.

*D*iscussão

O sucesso do tratamento endodôntico está relacionado ao conhecimento da anatomia do sistema de canais radiculares (SCR) e suas variações, o que permite realizar limpeza e modelagem possibilitando a obturação tridimensional do SCR (SLOWEY, 1979; VERTUCCI, 1984; VERSIANI; PÉCORA; SOUSA-NETO, 2011a).

Desta forma, é importante o conhecimento das características morfológicas tridimensionais do SCR, de modo a associá-las aos protocolos do tratamento endodôntico (DOWKER; DAVIS; ELLIOTT, 1997; SWAIN; XUE, 2009). Diversos métodos *in vitro* têm sido utilizados para o estudo das características do SCR, tais como diafanização (PÉCORA et al., 1991; PINHEIRO JÚNIOR et al., 1994; SERT, BAYIRLI, 2004), secções transversais (BARRETT, 1925; KEREKES; TRONSTAD; SWEDEN, 1977; LU; YANG; PAI, 2006; KHEDMAT; ASSADIAN; SARAVANI, 2010) e análise por meio de lupa estereoscópica (BAISDEN; KULILD; WELLER, 1992) que são geralmente destrutivos e produzem mudanças irreversíveis nos espécimes.

Atualmente, estudos *in vitro* de anatomia de dentes têm sido realizados por meio de μ TC, esta técnica permite gerar imagem da estrutura interna, cortes e superfícies em qualquer orientação, permitindo que as características morfológicas do SCR sejam observadas de vários ângulos; com a possibilidade de rotacionar a amostra em 360°, inclinar e magnificar áreas de interesse; e o uso da cor, luz e textura para o melhor caracterização e entendimento da anatomia dental (PLOTINO et al., 2006; ENDAL et al., 2011; VERMA; LOVE, 2011; VERSIANI et al., 2012), além de ser uma técnica não invasiva e não destrutiva (YU; TAM; SCHILDER, 2006; PAQUÉ; PETERS, 2011; VERSIANI, PÉCORA, SOUSA-NETO, 2011; VERSIANI; PÉCORA; SOUSA-NETO, 2012; VERSIANI, PÉCORA, SOUSA-NETO, 2013; LEONI et al., 2013), superando as deficiências das técnicas de estudos morfológicos e

permitindo a transferência da informação obtida em experimentos laboratoriais para a prática clínica.

Muitos estudos avaliaram a morfologia dos canais radiculares da dentição permanente (VERTUCCI, 1984; ÇALISKAN et al., 1995; SERT; BAYIRLI, 2004). Esses estudos evidenciam que o número de canais radiculares pode variar em cada grupo de dentes, em cada pessoa e, de modo geral, em cada grupo racial (CURZON, 1974; AHMED et al., 2007).

A ocorrência de dois canais em pré-molares inferiores sulcados, no presente estudo, foi de 78,26% para os primeiros pré-molares e de 56,70% para os segundos pré-molares. Essa prevalência é semelhante aos resultados de PINHEIRO JÚNIOR et al. (1994) que avaliaram pré-molares inferiores sulcados, por meio de diafanização, e encontraram em primeiros e segundos pré-molares, respectivamente, 63,2% e 60,6% a presença de dois canais. Três ou mais canais foram verificados em 8,68% dos primeiros e em 7,20% dos segundos pré-molares inferiores. LIU et al. (2013), estudando apenas primeiros pré-molares, observaram a prevalência de três canais em 8,7% dos casos, já ORDINOLA-ZAPATA et al. (2013), avaliando 105 pré-molares inferiores sulcados, observaram três canais em 15,24% dos espécimes.

Por outro lado, estudos *in vitro* avaliando pré-molares inferiores de uma forma geral, mostram uma grande diversidade na ocorrência de canais adicionais, sendo que a prevalência varia de 18% a 32% dos casos (WALKER, 1988; SERMAN, HASSELGREN, 1992), diferente do presente estudo que avaliou apenas pré-molares inferiores com raízes sulcadas e apresentou maiores prevalências de dentes com mais de um canal.

Recentemente, em estudos *in vivo* realizados em população chinesa, por meio de tomografia computadorizada cone-beam, YU et al. (2012) mostraram que 11,8% de 178 primeiros pré-molares inferiores e 2,2% de 178 segundos pré-molares apresentaram mais de um canal e, YANG et al. (2013) observaram que 22,05% em uma amostra de 440 primeiros pré-molares inferiores apresentaram dois canais e 1,14% apresentaram canais em forma de C.

Os resultados dos parâmetros bidimensionais avaliados neste estudo mostraram que, em relação à circularidade, a forma do canal manteve-se constante nos 3 mm apicais avaliados ($p > 0,05$), variando de 0,43 a 0,61, sendo possível inferir uma forma levemente achatada com tendência circular no terço apical dos canais radiculares dos pré-molares inferiores. O fator de forma apresentou valor médio de 0,69, reafirmando a forma levemente achatada com tendência circular dos canais. Os valores médios do diâmetro maior a 1 mm do forame apical de primeiros e segundos pré-molares foi, respectivamente, de $0,34 \pm 0,26$ mm e $0,49 \pm 0,32$ mm, sendo aproximadamente valores duas vezes maiores que o diâmetro menor, que apresentou média de $0,20 \pm 0,10$ mm para os primeiros e $0,25 \pm 0,16$ mm para os segundos pré-molares. Esta diferença anatômica entre os diâmetros maior e menor requer atenção durante o preparo biomecânico, visto que a instrumentação com movimentos rotatórios puros no sentido do maior diâmetro do canal pode aumentar as possibilidades de acidentes operatórios devido à forma levemente achatada destes canais radiculares e à característica geral dos dentes apresentarem espessura de dentina reduzida em função dos sulcos presentes.

Em relação aos parâmetros tridimensionais, observou-se, no presente estudo, média de volume de $10,73 \pm 5,42$ mm³ para os primeiros pré-molares inferiores e $10,89 \pm 5,77$ mm³ para os segundos pré-molares inferiores. A média da

área de superfície foi de, respectivamente, $58,51 \pm 16,41 \text{ mm}^2$ e $60,64 \pm 17,46 \text{ mm}^2$ para primeiros e segundos pré-molares inferiores. Os valores de SMI foram de $2,84 \pm 0,61$ para os primeiros pré-molares inferiores e $2,46 \pm 0,31$ para os segundos pré-molares inferiores. ORDINOLA-ZAPATA et al. (2013), ao estudar pré-molares inferiores com configuração morfológica interna IX (1-3), por meio de μTC , encontraram valores diferentes desse estudo, sendo $2,19 \pm 1,51 \text{ mm}^3$ para volume e $32,46 \pm 16,94 \text{ mm}^2$ para a área de superfície. Porém o SMI apresentou valores semelhantes, com média de $2,28 \pm 0,37$, que demonstra forma tridimensional cônica com tendência cilíndrica do SCR.

Em relação à análise qualitativa dos modelos tridimensionais, 97,12% dos primeiros pré-molares e 92,80% dos segundos pré-molares inferiores sulcados, avaliados Neste estudo, evidenciaram presença de padrões morfológicos do tipo I, III, V e VII segundo a classificação de VERTUCCI (1984). Entretanto, 1,44% da amostra dos primeiros pré-molares e 7,20% dos segundos pré-molares inferiores sulcados não apresentaram os tipos morfológicos descritos por VERTUCCI (1984) ou outros autores (KARTAL; YANIKOĞLU, 1992; GULABIVALA et al., 2001; NG et al., 2001; SERT; BAYIRLI, 2004, AWAWDEH; AL-QUDAH, 2008; LEONI et al., 2013), o que possibilitou a inclusão de dois novos tipos morfológicos: tipo 1-2-5-4-5-4 e 1-3-2-3, provavelmente em função da maior acuidade da metodologia usada no presente estudo, uma vez que a μTC que permite detectar com maior precisão áreas em que as paredes estão encostadas ou unidas. Esses achados são importantes para indicar a necessidade de novos protocolos de preparo, irrigação e obturação do SCR, capazes de promover um tratamento mais adequado e efetivo para cada tipo de anatomia dental, favorecendo o sucesso do tratamento endodôntico.

Nas figuras de 9 a 13 pode-se observar outra variação morfológica bastante presente no grupo dental estudado, raiz e canal em forma de C (BAISDEN; KULILD; WELLER, 1992; LU; YANG; PAI, 2006; FAN et al., 2012; GU et al., 2013; YANG et al., 2013), que requerem cuidados e estratégias específicas para o adequado preparo biomecânico. Nesses casos é importante a utilização de sistemas de irrigação ativos e instrumentos que permitam movimentos de lateralidade, possibilitando a limpeza mais efetiva dos istmos. A escolha do protocolo de obturação também é importante, sendo interessante o uso de alguma técnica termoplástica que possibilite o preenchimento tridimensional do sistema de canais radiculares (WEINE; PASIEWICZ; RICE, 1988).

BAISDEN; KULILD; WELLER (1992) e LU; YANG; PAI (2006), usando estereomicroscopia, fotografias e exames radiográficos em secções transversais, relataram, respectivamente, a presença de canais com configuração em C em 15% e 18% dos primeiros pré-molares inferiores. Utilizando μ TC, FAN et al. (2008) relataram a incidência de 24% de canais com configuração em C nos primeiros pré-molares inferiores em população chinesa. GAO et al. (2006), avaliando canais radiculares em forma de C, também por meio de μ TC mostraram que alguns istmos podem ser encontrados bastante próximos do sulco, o que indica a existência de uma zona de perigo, fazendo com que os pré-molares inferiores com configuração do canal em forma de C sejam de difícil tratamento.

A incidência de canais acessórios, nesse estudo, variou de 1 a 5 canais, sendo observada nos terços apical e médio em 56,62% dos primeiros pré-molares e em 64,28% dos segundos pré-molares inferiores, com maior frequência de apenas um canal acessório tanto no terço apical quanto no médio nos dois grupos dentais avaliados. A presença de deltas apicais foi observada em apenas 4,35% dos

primeiros pré-molares e 7,14% dos segundos pré-molares inferiores. A presença de canais acessórios, segundo AWAWDEH; AL-QUDAH L (2008), observada por meio de diafanização, foi de 25,4% nos primeiros pré-molares e de 26% nos segundos pré-molares inferiores com maior incidência no terço apical. Os autores também relataram a presença de deltas apicais em 29,2% dos primeiros pré-molares e 28,8% dos segundos pré-molares inferiores. LIU et al. (2013) observaram, por meio de μ TC, a presença de canais acessórios em 35,7% dos primeiros pré-molares inferiores, sendo a maior incidência no terço apical da raiz. Cumpri salientar que, em relação a esta variabilidade de resultados, falhas em distinguir precisamente e descrever a forma dos canais principais e acessórios pode levar a informações diferentes (WALKER, 1988).

A avaliação da anatomia externa radicular evidenciou, no presente estudo, que a espessura de dentina da face interna da raiz correspondente à localização do sulco apresentou diminuição, no sentido coroa-ápice, sendo que a menor média de espessura encontrada foi de 1 mm e o menor valor de espessura de dentina da face interna mensurado foi de 0,19 mm. Os cirurgiões-dentistas devem estar cientes desta zona de perigo de dentina com espessura delgada para evitar perfurações durante a limpeza e modelagem do SCR (PILO; CORCINO, TAMSE, 1998; FAN et al., 2012). Semelhantemente a esses achados, GU et al. (2013), analisando a espessura das paredes dentinárias de primeiros pré-molares inferiores em forma de C, por meio de μ TC, relataram que a espessura da dentina diminuiu à medida que aumentou a distância da junção cimento-esmalte, sendo as paredes mesiais (correspondente à localização do sulco) as áreas mais delgadas, e o menor valor mensurado foi de apenas 0,17 mm, indicando que a remoção excessiva da estrutura dentinária poderia enfraquecer a raiz e aumentar a suscetibilidade à fratura.

LAMMERTTYN; RODRIGO; BRUNNOTTO (2009), estudando a superfície radicular de pré-molares superiores com sulcos, observaram que a espessura de dentina correspondente ao sulco foi variável, e apresentava redução conforme a profundidade do sulco aumentava.

O sulco radicular é o desenvolvimento de uma depressão sobre a superfície da raiz dental (ROBINSON et al., 2002; CLEGHORN; CHRISTIE; DONG, 2007a). Avaliando a sua extensão e profundidade, observou-se, no presente estudo, grande variabilidade de combinações. Foram observados 182 sulcos radiculares (rasos e profundos) nos primeiros pré-molares e 44 sulcos nos segundos pré-molares inferiores, sendo localizados de forma mais prevalente nas faces mesiais de primeiros e segundos pré-molares inferiores. O comprimento médio e a média da profundidade do sulco foram de, respectivamente, 8,51 mm e 0,96 mm nos primeiros pré-molares inferiores e 8,91 mm e 0,94 mm nos segundo pré-molares inferiores. Estes sulcos começaram, em média, 3,10 mm abaixo da junção cimento-esmalte nos primeiros pré-molares e 2,71 mm nos segundos pré-molares inferiores, e terminaram, em média, 1,81 mm nos primeiros pré-molares inferiores e 2,05 mm nos segundos pré-molares inferiores do forame apical (Figura 17). Em 2008, FAN et al. encontraram características semelhantes, relatando a presença de 93 sulcos em 86 primeiros pré-molares inferiores, localizados principalmente na face mesial da raiz (78,5%), o comprimento médio do sulco foi 8,77 mm e sua profundidade média foi de 1,44 mm e, geralmente, começaram em média a 3,46 mm da junção cimento-esmalte e terminaram a 1,38 mm do ápice anatômico. PINHEIRO JÚNIOR et al. (1994) descreveram que estes sulcos em pré-molares inferiores podem se apresentar rasos e pouco desenvolvidos, ficando restritos ao terço médio da raiz ou

se estender mais cervical e apicalmente, aprofundando-se a ponto de resultar na divisão da porção apical da raiz ou mesmo desde sua porção média.

LU; YANG; PAI (2006) constataram que o sulco radicular, correspondente ao canal com configuração em C em primeiros pré-molares inferiores, mostrou-se bastante variável, apresentando-se profundos e duplos em alguns casos, enquanto outros eram rasos, sendo frequentes na face lingual com tendência à área proximal, começando do meio do comprimento da raiz e nem sempre se estendiam até o ápice. FAN et al. (2012), avaliando primeiros pré-molares inferiores com configurações de canais em C, mostraram incidência de 35,9% de canais em C quando a superfície radicular apresentou sulcos radiculares rasos e de 77,57% quando apresentou sulcos radiculares profundos.

A presença do sulco radicular pode aumentar a área e a capacidade de suporte das membranas periodontais (FAN et al., 2008). Por outro lado, na presença de bolsa periodontal, o sulco radicular se torna um reservatório para placa bacteriana e cálculo, aumentando a dificuldade de higiene oral e o tratamento de doença periodontal (FAN et al., 2008). Além disso, os sulcos radiculares resultam em secções transversais em forma de C, o que aumenta a dificuldade de tratamento endodôntico (FAN et al., 2008), como relatado anteriormente. Assim, o reconhecimento da existência do sulco radicular, é primordial para um tratamento de sucesso.

É interessante notar que a avaliação por μ TC permite medidas de parâmetros geométricos básicos tais como volume, área de superfície e diâmetro, bem como descritores adicionais de forma tais como o parâmetro de circularidade e fator de forma (BJØRNDAL et al., 1999; PETERS et al., 2000; PETERS; SCHÖNENBERGER; LAIB, 2001; PETERS; PAQUÉ, 2011; VERMA; LOVE, 2011;

VERSIANI; PÉCORA; SOUSA-NETO, 2011b; VERSIANI; PÉCORA; SOUSA-NETO, 2013). Estes dados bi e tridimensionais são impossíveis de se obter com o método tradicional de diafanização (NEELAKANTAN; SUBBARAO; SUBBARAO, 2010). Portanto, com a informação dada pela radiografia e o conhecimento das possíveis variações da forma tridimensional e medidas do canal radicular, o clínico estará mais preparado para inferir sobre o tipo de configuração de anatomia interna está presente e assim conduzir o tratamento mais adequado dentro das possibilidades do arsenal endodôntico.

Conclusões

- 1- Os sulcos radiculares podem estar presentes, isolados ou não, em qualquer das faces das raízes dos pré-molares inferiores, porém, sua maior incidência é nas faces mesiais;
- 2- A presença de sulcos radiculares, rasos ou profundos, quase sempre resulta no aparecimento de mais de um canal nos pré-molares inferiores;
- 3- Foi possível confirmar a complexidade anatômica do SCR dos pré-molares inferiores com identificação de dois tipos morfológicos, evidenciado por novos istmos.

Referências Bibliográficas

AHMED, H. A.; ABU-NAKR, N. H.; YAHIA, N. A.; IBRAHIM, Y. E. Root and canal morphology of permanent mandibular molars in a Sudanese population. **Int Endod J**, v. 40, n. 10, p. 766-71, 2007.

AMOS, E. R. Incidence of bifurcated root canals in mandibular bicuspid. **J Am Dent Assoc**, v.50, n. 1, p. 70-71, 1955.

AWAWDEH, L. A.; AL-QUDAH, A. A. Root form and canal morphology of mandibular premolars in a Jordanian population. **Int Endod J**, v. 41, n. 3, p. 240-8, 2008.

BARBIZAM, J. V. B.; FARINIUK, L. F.; MARCHESAN, M. A.; PÉCORA, J. D.; SOUSA-NETO, M. D. Effectiveness of manual and rotary instrumentation techniques for cleaning flattened root canals. **J Endod**, v. 28, n. 5, p. 365-6, 2002.

BAISDEN, M. K.; KULILD, J. C.; WELLER, R. N. Root canal configuration of the mandibular first premolar. **J Endod**, v. 18, n. 10, p. 505-8, 1992.

BARRETT, M. The internal anatomy of the teeth with special reference to the pulp and its branches. **Dent Cosmos**, v. 67, n. 6, p. 581-92, 1925.

BJØRNDAL, L.; CARLSEN, O.; THUESEN, G.; DARVANN, T.; KREIBORG, S. External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. **Int Endod J**, v. 32, n. 1, p. 3-9, 1999.

CALIŞKAN, M. K.; PEHLIVAN, Y.; SEPETÇIOĞLU, F.; TÜRKÜN, M.; TUNCER, S. S. Root canal morphology of human permanent teeth in a Turkish population. **J Endod**, v. 21, n. 4, p. 200-4, 1995.

CLEGHORN, B. M.; CHRISTIE, W. H.; DONG, C. C. The root and root canal morphology of the human mandibular first premolar: a literature review. **J Endod**, v. 33, n. 5, p. 509-16, 2007a.

CLEGHORN, B. M.; CHRISTIE, W. H.; DONG, C. C. The root and root canal morphology of the human mandibular second premolar: a literature review. **J Endod**, v. 33, n. 6, p. 1031–37, 2007b.

CLEGHORN, B. M.; CHRISTIE, W. H.; DONG, C. C. Anomalous mandibular premolars: a mandibular first premolar with three roots and a mandibular second premolar with a C-shaped canal system. **Int Endod J**, v. 41, n. 11, p. 1005–14, 2008.

CURZON, M. E. Miscegenation and the prevalence of three-rooted mandibular first molars in the Baffin Eskimo. **Community Dent Oral Epidemiol**, v. 2, n. 3, p. 120-1, 1974.

DOWKER, S. E.; DAVIS, G. R.; ELLIOTT, J. C. X-ray microtomography: nondestructive three-dimensional imaging for in vitro endodontic studies. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 83, n. 4, p. 510-6, 1997.

ENDAL, U.; SHEN, Y.; KNUT, A.; GAO, Y.; HAAPASALO, M. A high-resolution computed tomographic study of changes in root canal isthmus area by instrumentation and root filling. **J Endod**, v. 37, n. 2, p. 223-7, 2011.

FAN, B.; YANG, J.; GUTMANN, J. L.; FAN, M. Root canal systems in mandibular first Premolars with C-shaped root configurations: part I—microcomputed tomography mapping of the radicular groove and associated root canal cross-sections. **J Endod**, v. 34, n. 11, p. 1337–41, 2008.

FAN, B.; MIN, Y.; LU, G.; YANG, J.; CHEUNG, G. S.; GUTMANN, J. L. Negotiation of C-shaped canal systems in mandibular second molars. **J Endod**, v. 35, n. 7, p. 1003-8, 2009.

FAN, B.; YE, W.; XIE, E.; WU, H.; GUTMANN, J.L. Three-dimensional morphological analysis of C-shaped canals in mandibular first premolars in a Chinese population. **Int Endod J**, v. 45, n. 11, p. 1035–41, 2012.

GAO, Y.; FAN, B.; CHEUNG, G. S. P.; GUTMANN, J. L.; FAN, M. C-shaped Canal System in Mandibular Second Molars Part IV: 3-D Morphological Analysis and Transverse Measurement. **J Endod**, v. 32, n. 11, p. 1062-65, 2006.

GRANDE, N.M.; PLOTINO, G.; PECCI, R.; BEDINI, R.; PAMEIJER, C.H.; SOMMA, F. Micro-computerized tomographic analysis of radicular and canal morphology of premolars with long oval canals. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 106, n. 3, p. 70–76, 2008.

GU, Y.; ZHANG, Y.; LIAO, Z. Root and canal morphology of mandibular first premolars with radicular grooves. **Arch Oral Biol**, v. 58, n. 11, p. 1609-1617, 2013.

GU, Y.; ZHANG, Y.; LIAO, Z.; FEI, X.D. A Micro–Computed Tomographic Analysis of Wall Thickness of C-shaped Canals in Mandibular First Premolars. **J Endod**, v. 39, n. 8, p. 973-976, 2013.

GULABIVALA, K.; AUNG, T. H.; ALAVI, A.; NG, Y. L. Root and canal morphology of Burmese mandibular molars. **Int Endod J**, v. 34, n. 5, p. 359-70, 2001.

GULABIVALA, K.; OPASANON, A.; NG, Y. L.; ALAVI, A. Root and canal morphology of Thai mandibular molars. **Int Endod J**, v 35, n. 5, p. 56-62, 2002.

INGLE, J.I.; BAKLAND, L.K. **Endodontics**. 4 ed. Philadelphia: Lea & Febiger, p. 92–226, 1994.

KARTAL, N.; YANIKOĞLU, F. C. Root canal morphology of mandibular incisors. **J Endod**, v. 18, n. 11, p. 562-4, 1992.

KASAHARA, E.; YASUDA, E.; YAMAMOTO, A.; ANZAI, M. Root canal system of the maxillary central incisor. **J Endod**, v. 16, n. 4, p. 158–61, 1990.

KEREKES, K.; TRONSTAD, L.; SWEDEN, M. Morphometric observations on root canals of human premolars. **J Endod**, v. 3, n. 2, p. 74-79, 1977.

KHEDMAT, S.; ASSADIAN, H.; SARAVANI, A. A. Root canal morphology os the mandibular first premolars in an Iranian population using cross-sections and radiography. **J Endod**, v. 36, n. 2, p. 214-217, 2010.

KRASNER, P.; RANKOW H. J. Anatomy of the Pulp-Chamber Floor. **J Endod**, v. 30, n. 1, p. 5-16, 2004.

LAMMERTYN, P. A.; RODRIGO, S. B.; BRUNNOTTO, M. Furcation grooves of maxillary first premolars, thickness, and dentin structures. **J Endod**, v. 35, n. 6, p. 814-17, 2009.

LEONI, G. B.; VERSIANI, M. A.; PÉCORÁ, J. D.; SOUSA-NETO, M. D. Micro-computed Tomographic Analysis of the Root Canal Morphology of Mandibular Incisors. **J Endod**, 2013 (*in press*).

LI, X.; LIU, N.; LIU, N.; YE, L.; NIE, X.; ZHOU, X.; WEN, X.; LIU, R.; LIU, L.; DENG, M. A micro-computed tomography study of the location and curvature of the lingual canal in the mandibular first premolar with two canals originating from a single canal. **J Endod**, v. 38, n. 3, p. 309–12, 2012.

LIU, N.; LI, X.; YE, L.; AN, J.; NIE, X.; LIU, L.; DENG, M. et al. A micro-computed tomography study of the root canal morphology of the mandibular first premolar in a population from southwestern China. **Clin Oral Investig**, v. 17, n. 3, p. 999–1007, 2013.

LU, T.Y.; YANG, S.F.; PAI, S. F. Complicated root canal morphology of mandibular first premolar in a Chinese population using the cross section method. **J Endod**, v. 32, n. 10, p. 932–6, 2006.

MANNING, S. A. Variations in root canal anatomy. **N Z Dent J**, v. 87, n. 388, p. 52-6, 1991.

MUELLER, A. Anatomy of the root canals of the incisors, cuspids and bicuspid of the permanent teeth. **J Am Dent Assoc**, v. 20, n. 8, p. 1361–86, 1933.

NAIR, M. K.; NAIR, U. P. Digital and advanced imaging in endodontics: a review. **J Endod**, v. 33, n. 1, p. 1-6, 2007.

NALLAPATI, S. Three canal mandibular first and second premolars: a treatment approach. **J Endod**, v. 31, n. 6, p. 474–6, 2005.

NEELAKANTAN, P.; SUBBARAO, C.; SUBBARAO, C. V. Comparative evaluation of modified canal staining and clearing technique, cone-beam computed tomography, peripheral quantitative computed tomography, spiral computed tomography, and plain and contrast medium-enhanced digital radiography in studying root canal morphology. **J Endod**, v. 36, n. 9, p. 1547-51, 2010.

NG, Y. L.; AUNG, T. H.; ALAVI, A.; GULABIVALA, K. Root and canal morphology of Burmese maxillary molars. **Int Endod J**, v. 34, n. 8, p. 620-30, 2001.

ORDINOLA-ZAPATA, R.; BRAMANTE, C. M.; VILLAS-BOAS, M. H.; CAVENAGO, B. C.; DUARTE, M. H.; VERSIANI, M. A. Morphologic micro-computed tomography analysis of mandibular premolars with three root canals. **J Endod**, v. 39, n. 9, p. 1130-1135, 2013.

PAQUÉ, F.; PETERS, O. A. Micro-computed Tomography Evaluation of the Preparation of Long Oval Root Canals in Mandibular Molars with the Self-adjusting File. **J Endod**, v. 37, n. 4, p. 517-21, 2011.

PÉCORA, J. D.; SAVIOLI, R. N.; COSTA, L. F.; CRUZ FILHO, A. M.; FIDEL, S. R. Estudo da anatomia interna e do comprimento dos pré-molares inferiores humanos. **Rev Bras Odont**, v. 48, n. 3, p. 31-6, 1991.

PETERS, O. A.; LAIB, A.; RÜEGSEGG, P.; BARBAKOW, F. Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. **J Dent Res**, v. 79, n. 6, p. 1405-9, 2000.

PETERS, O. A.; PAQUÉ, F. Root canal preparation of maxillary molars with the selfadjusting file: a micro-computed tomography study. **J Endod**, v. 37, n. 1, p. 53-7, 2011.

PETERS, O. A.; SCHÖNENBERGER, K.; LAIB, A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. **Int Endod J**, v. 34, n. 3, p. 221-30, 2001.

PILO, R.; CORCINO, G.; TAMSE, A. Residual dentin thickness in mandibular premolars prepared with hand and rotary instruments. **J Endod**, v. 24, n. 6, p.401-4, 1998.

PINEDA, F.; KUTTLER, Y. Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 33, n. 1, p. 101-10, 1972.

PINHEIRO JÚNIOR, E. C.; LEITE, A. P. P.; SILVA R. G.; PÉCOR, J. D. Relação entre sulcos radiculares e números de canais em pré-molares inferiores. Estudo “in vivo”. **Rev ABO Nac**, v. 2, n. 4, p. 265-269, 1994.

PLOTINO, G.; GRANDE, N. M.; PECCI, R.; BEDINI, R.; PAMEIJER, C. H; SOMMA, F. Three-dimensional imaging using microcomputed tomography for studying tooth macromorphology. **J Am Dent Assoc**, v. 137, n. 11, p. 1555-61, 2006.

ROBINSON, S.; CZERNY, C.; GAHLEITNER, A.; BERNHART, T.; KAINBERGER, F. M. Dental CT evaluation of mandibular first premolar root configurations and canal variations. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 93, n. 3, p. 328-32, 2002.

SACHDEVA, G. S.; BALLA, S.; GOPIKRISHNA, V.; KANDASWAMY, D. Endodontic Management of a Mandibular Second Premolar with Four Roots and Four Root Canals with the Aid of Spiral Computed Tomography: A Case Report. **J Endod**, v. 34, n. 1, p. 1004-7, 2008.

- SERMAN, N. J.; HASSELGREN, G. The radiographic incidence of multiple roots and canals in human mandibular premolars. **Int Endod J**, v. 25, n. 5, p. 234–7, 1992.
- SERT, S.; BAYIRLI, G. S. Evaluation of the root canal configurations of the mandibular and maxillary permanent teeth by gender in the Turkish population. **J Endod**, v. 30, n. 6, p. 391-8, 2004.
- SIMON, J.H.; DOGAN, H.; CERESA, L.M.; SILVER, G.K. The radicular groove: its potential clinical significance. **J Endod**, v. 26, n. 5, p. 295–8, 2000.
- SLOWEY, R. R. Root canal anatomy. Road map to successful endodontics. **Dent Clin North Am**, v. 23, n. 4, p. 555-73, 1979.
- SOMMA, F.; LEONI, D.; PLOTINO, G.; GRANDE, N. M.; PLASSCHAERT, A. Root canal morphology of the mesiobuccal root of maxillary first molars: a micro-computed tomographic analysis. **Int Endod J**, v. 42, n. 2, p. 165-74, 2009.
- SWAIN, M. V.; XUE, J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. **Int J Oral Sci**, v. 1, n. 4, p. 177-88, 2009.
- TROPE, M.; ELFENBEIN, L.; TRONSTAD, L. Mandibular premolars with more than one root canal in different race groups. **J Endod**, v. 12, n. 8, p. 343–5, 1986.
- VELMURUGAN, N.; SANDHYA, R. Root canal morphology of mandibular first premolars in an Indian population: a laboratory study. **Int Endod J**, v. 42, n. 1, p. 54-8, 2009.
- VERMA, P.; LOVE, R. M. A Micro CT study of the mesiobuccal root canal morphology of the maxillary first molar tooth. **Int Endod J**, v. 44, n. 3, p. 210-7, 2011.
- VERSIANI, M. A.; PÉCORA, J. D.; DE SOUSA-NETO, M. D. Flat-oval root canal preparation with self-adjusting file instrument: a micro-computed tomography study. **J Endod**, v. 37, n. 7, p. 1002-7, 2011 a.

VERSIANI, M. A.; PÉCORA, J. D.; SOUSA-NETO, M. D. The anatomy of two-rooted mandibular canines determined using micro-computed tomography. **Int Endod J**, v. 44, n. 7, p. 682-7, 2011 b.

VERSIANI, M. A.; SOUSA-NETO, M. D.; PÉCORA, J. D. Pulp pathosis in inlayed teeth of the ancient Mayas: a microcomputed tomography study. **Int Endod J**, v. 44, n. 11, p. 1000-4, 2011.

VERSIANI, M. A.; PÉCORA, J. D.; SOUSA-NETO, M. D. Root and root canal morphology of four-rooted maxillary second molars: a micro-computed tomography study. **J Endod**, v. 38, n. 7, p. 977-982, 2012.

VERSIANI, M. A.; SOUSA-NETO, M. D.; PÉCORA, J. D. Microcomputed tomography analysis of the root canal morphology of single-rooted mandibular canines. **Int Endod J**, v. 46, n. 9, p. 800-7, 2013.

VERTUCCI, F. J. Root canal morphology of mandibular premolars. **J Am Dent Assoc**, v. 97, n. 1, p. 47–50, 1978.

VERTUCCI, F. J. Root canal anatomy of the human permanent teeth. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**, v. 58, n. 5, p. 589-99, 1984.

VERTUCCI, F. J. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. **Endod Topics**, v. 10, n. 1, p. 3-29, 2005.

WALKER, R. T. Root canal anatomy of mandibular first premolars in a southern Chinese population. **Endod Dent Traumatol**, v. 4, n. 5, p. 226-8, 1988.

WEINE, F. S.; PASIEWICZ, R. A.; RICE, R. T. Canal configuration of the mandibular second molar using a clinically oriented in vitro method. **J endod**, v. 14, n. 5, p. 207-13, 1988.

YANG, H.; TIAN, C.; LI, G.; YAN, L.; HAN, X.; WANG, Y. A Cone-beam computed tomography of the root canal morphology of mandibular first premolars and the

location of root canal orifices and apical foramina in a Chinese subpopulation. **J Endod**, v. 39, n. 4, p. 435-438, 2013.

YOSHIOKA, T.; VILLEGAS, J. C.; KOBAYASHI, C.; SUDA, H. Radiographic evaluation of root canal multiplicity in mandibular first premolars. **J Endod**, v. 30, n. 2, p. 73-74, 2004.

YU, D.C.; TAM, A.; SCHILDER, H. Root canal anatomy illustrated by microcomputed tomography and clinical cases. **Gen Dent**, v. 54, n. 5, p. 331-5, 2006.

YU, X.; GUO, B.; LI, K. Z.; ZANG, R.; TIAN, Y. Y.; WANG, H.; HU, T. Cone-beam computed tomography study of root and canal morphology of mandibular premolars in a western Chinese population. **BMC Med Imaging**, v. 12, n. 18; p. 1-5, 2012.

ZILLICH, R.; DOWSON, J. Root canal morphology of mandibular first and second premolars. **Oral Surg**, v. 36, n. 5, p. 738-744, 1973.

Apêndices

Apêndice A. Modelos tridimensionais da anatomia interna de primeiros pré-molares inferiores.

53

54

55

57

58

59

60

62

64

67

68

70

73

74

76

77

85

91

94

95

98

99

101

104

105

106

107

108

110

111

113

114

115

116

119

121

122

123

124

Apêndice B. Modelos tridimensionais da anatomia interna de segundos pré-molares inferiores.

Apêndice C. Modelos tridimensionais da anatomia externa de primeiros pré-molares inferiores.

01

03

04

06

07

09

10

11

12

13

16

19

20

21

22

23

25

26

32

34

36

37

39

40

41

43

44

45

49

50

53

54

55

57

58

59

67

68

70

73

74

76

77

85

91

94

95

98

99

101

104

105

106

107

108

110

111

113

114

115

116

119

121

122

123

124

Apêndice D. Modelos tridimensionais da anatomia externa de segundos pré-molares inferiores.

05

08

14

29

30

35

42

46

48

61

69

90

102

125

*A*nexos

Anexo 1. Detalhes dos parâmetros de aquisição das imagens microtomográficas.

```
[Acquisition]
Data Directory=C:\Users\skyScan\Desktop\Graziela\Emanuele PM inf\124
Filename Prefix=PMI_3C_124_
Number Of Files= 188
Number Of Rows= 1024
Number Of Columns= 795
Partial width= 61%
Image crop origin X= 254
Image crop origin Y=0
Camera binning=1x1
Image Rotation=359.8600
Gantry direction=CC
Optical Axis (line)= 512
Object to Source (mm)=226.60
Camera to Source (mm)=266.50
Source voltage (kV)= 50
Source current (uA)= 800
Image Pixel Size (um)=22.89
Scaled Image Pixel Size (um)=22.893000
Image Format=TIFF
Depth (bits)=16
Screen LUT=0
Exposure (ms)=7000
Rotation Step (deg)=1.000
Use 360 Rotation=NO
FlatField Update=NO
Scanning position=1.748 mm
Flat Field Correction=ON
Frame Averaging=OFF (2)
Sharpening (%)=40
Random Movement=OFF
Geometrical Correction=ON
Filter=0,5 mm Al
Rotation Direction=CC
Type of Detector Motion=STEP AND SHOOT
Scanning Trajectory=ROUND
Number of connected scans=1
Study Date and Time=Apr 01, 2013 17:12:55
Scan duration=00:23:23
```

Anexo 2. Detalhes dos parâmetros de reconstrução das secções transversais.

```
[Reconstruction]
Reconstruction Program=NRcon
Program Version=Version: 1.6.6.0
Program Home Directory=C:\SkyScan1174ver2
Reconstruction engine=NRconServer
Engine version=Version: 1.6.6
Reconstruction from batch=Yes
Reconstruction servers= DOR-LABPECORA02
Option for additional F4F float format=OFF
Reconstruction mode=Standard
Dataset origin=SkyScan1174v2
Dataset Prefix=PMI_3C_124_
Dataset Directory=E:\MicroCT\Emanuele PM inf\124
Output Directory=E:\MicroCT\Emanuele PM inf\124\rec2
Time and Date=Jul 10, 2013 11:53:42
First Section=20
Last Section=1002
Reconstruction duration per slice (seconds)=0.130214
Total reconstruction time (983 slices) in seconds=128.000000
Postalignment=1.00
Section to Section Step=1
Sections Count=983
Result File Type=BMP
Result File Header Length (bytes)=1134
Result Image width (pixels)=436
Result Image Height (pixels)=436
Pixel Size (um)=22.89300
Reconstruction Angular Range (deg)=188.00
Use 180+=OFF
Angular Step (deg)=1.0000
Smoothing=5
Smoothing kernel=2 (Gaussian)
Ring Artifact Correction=5
Draw Scales=OFF
Object Bigger than FOV=OFF
Reconstruction from ROI=ON
ROI Top (pixels)=615
ROI Bottom (pixels)=179
ROI Left (pixels)=194
ROI Right (pixels)=630
ROI reference length=795
Filter cutoff relative to Nyquist frequency=100
Filter type=0
Filter type meaning(1)=0: Hamming (Ramp in case of optical scanner); 1: Hann; 2: Ramp; 3: Almost Ramp;
Filter type meaning(2)=11: Cosine; 12: Shepp-Logan; [100,200]: Generalized Hamming, alpha=(iFilter-100)/100
Undersampling factor=1
Threshold for defect pixel mask (%)=0
Beam Hardening Correction (%)=42
CS Static Rotation (deg)=0.00
Minimum for CS to Image Conversion=0.040000
Maximum for CS to Image Conversion=0.130000
HU Calibration=OFF
BMP LUT=0
Cone-beam Angle Horiz.(deg)=4.599380
Cone-beam Angle vert.(deg)=5.922138
```